



**Análise da redução de impacto em emissões e ruído da
transição de embarcações a combustão por elétrico-solares no
projeto “Culatra 2030”**

Fábio Dinis Lourenço

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Carla Silva (FCUL)
Cláudia Dias Sequeira (UAlg)

Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer a João Bastos, Diretor-geral da SunConcept por me ter apresentado ao projeto Culatra 2030 e ao coordenador do mesmo, Doutor André Pacheco, investigador do Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA) da UAlg. Agradecer ao João por todo o aconselhamento e ao André por me integrar no projeto, ajudando ambos na criação do tema e abordagem desta dissertação.

Agradeço às orientadoras desta minha dissertação, a Professora Doutora Carla Silva e a Professora Doutora Cláudia Dias Sequeira, por toda a disponibilidade, paciência, e claro, orientação no melhor sentido.

Gostaria de fazer o meu grande agradecimento à Associação de Moradores da Ilha da Culatra, à sua Presidente Silvia Padinha e restantes membros, Vanda, Rui, entre outros, por toda a ajuda na disponibilização de informação e documentação, e integração na Ilha. Deixo, nos mesmos pontos, um agradecimento à Make it Better na pessoa de António José Martins.

É claro, agradeço à comunidade piscatória da ilha pelo tempo despendido a responder aos inquéritos, e por toda a ajuda e tempo despendido. Ainda a todos os habitantes da Ilha da Culatra com quem tive contacto, e sempre me fizeram sentir bem-vindo, o meu muito obrigado e parabéns pelo empenho com que abraçam este projeto revolucionário na sua comunidade.

E ainda, aos meus pais por todo o sacrifício e apoio em todo o meu percurso académico, são eles a grande fundação onde assenta este trabalho final de mestrado. Agradeço-lhes pela educação e contribuição para a pessoa que sou hoje, esperando sempre retribuir da melhor forma.

Resumo

Na atual senda mundial para a mitigação das alterações climáticas surgem cada vez mais projetos como o Culatra 2030, no qual esta dissertação se integra. Uma das iniciativas deste projeto é o de substituir parte da frota de embarcações convencional (a combustão interna de gasolina) por embarcações solares. Nesta dissertação estimou-se o impacto da frota de embarcações da Ilha da Culatra, atualmente a combustão interna, destinadas à pesca comercial e moluscicultura, nas emissões de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, energia consumida, e ruído subaquático e comparou-se estes resultados aos de uma nova frota elétrico-solar, que, no limite, em casos de céu nublado, prescindindo do recurso solar, efetuará o carregamento das suas baterias utilizando a rede elétrica nacional ou os futuros postos de carregamento, abastecido através de painéis fotovoltaicos instalados na ilha.

Da análise de impacto do ruído, limitada a revisão bibliográfica devido aos constrangimentos da pandemia COVID-19, conclui-se que as atuais embarcações reúnem características que podem causar particular impacto negativo em espécies presentes no Parque Natural da Ria Formosa, ao qual pertence a Culatra, nomeadamente na ostra e no cavalo marinho, e que embarcações de propulsão elétrica terão menor impacto.

As emissões de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ das embarcações a combustão (EC) foram estimadas com base em consumos de combustível fóssil recolhido em entrevistas aos proprietários, e na análise de ciclo de vida do combustível utilizado, aqui designada por *Well-to-Propeller*. Para estimar as emissões das embarcações elétrico-solares (EES), considera-se o seu carregamento na rede energética nacional, estudando-se a sua parcela de origem não renovável, nomeadamente as centrais termoelétricas a carvão e gás natural.

Comparando as duas tecnologias de propulsão, verifica-se que estas pouco diferem em termos de $\text{gCO}_{2\text{eq}}$ emitido por kWh consumido, 258,10 [$\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$] (ECs) para 253,29 [$\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$] (EESs). No entanto, as EC's podem ter um consumo energético, em kWh, de 11 a 121 vezes maior que as EES's dependendo da parcela da frota analisada e seu perfil de consumo. O que se reflete em emissões anuais de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ de cerca de 27 a 297 vezes maior da parte das ECs em relação às EESs.

Palavras-Chave: Culatra 2030; Embarcações Elétrico-Solares; Transição Energética; Frotas, Energia, Sustentabilidade, Comunidades energeticamente sustentáveis.

Abstract

In the current world path to mitigate climate change, more and more projects are emerging, such as Culatra 2030, in which this dissertation is integrated. This proposed to estimate the impact of the Culatra Island fleet of vessels, currently internal combustion, intended for commercial fishing and mollusc culture, on the metrics of CO_{2eq} emissions, energy consumed in kWh, and underwater noise. Comparing these results to those of a new electric-solar fleet, which, without using the solar resource, would charge its batteries using the national electricity grid.

From the noise impact analysis, limited to bibliographic review due to the constraints of the 2020 pandemic, it is concluded that the current vessels have characteristics that can cause a particular negative impact on species present in the Ria Formosa Natural Park, to which Culatra belongs, namely in the oyster and the seahorse, and that electric propulsion vessels will have less impact.

CO_{2eq} emissions from combustion vessels (CV) were estimated based on interviews with owners, and on the life cycle analysis of the fuel used, here called Well-to-Propeller. To estimate the emissions from electric-solar vessels (ESV), they are considered to be loaded into the national energy grid, studying their portion of non-renewable origin, namely the coal and natural gas thermoelectric plants.

Comparing the two propulsion technologies, it appears that they differ little in terms of gCO_{2eq} emitted per kWh consumed, from 258.10 [gCO_{2eq} / kWh] (CV's) to 253.29 [gCO_{2eq} / kWh] (ESV's). However, CV's can have an energy consumption, in kWh, of 11 to 121 times higher than ESV's depending on the portion of the analyzed fleet and their consumption profile. This is reflected in annual CO_{2eq} emissions of about 27 to 297 times higher than that of CV's in relation to ESE's.

Keywords: Culatra 2030; Electric-Solar Vessels; Energy transition; Fleet; Energy, Sustainability, Energetically sustainable communities.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	vii
Siglas e Acrónimos	viii
Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1. – Enquadramento	1
A Ilha da Culatra.....	2
1.1.1. – Culatra 2030 e a transição energética	6
1.2. – Objetivos.....	9
1.3. – Organização do documento.....	9
Capítulo 2 – Estado da Arte	11
Capítulo 3 – Métodos.....	17
3.1. Caracterização das embarcações a combustão.....	17
3.2. Caracterização das embarcações elétricas, OysterPro	23
3.3. Mistura energética da rede elétrica nacional.....	26
3.3.1. Centrais Termoelétricas Portuguesas.....	26
3.3.2. Combustível das Centrais Termoelétricas.....	31
3.4. Abordagem “ <i>Well to Propeller</i> ” e Fatores de conversão CO _{2eq}	32
3.5. Cenários em estudo	35
3.5.1. Cenário - Frota 100% Elétrica.....	35
3.5.2. Cenário - Auxiliar Local Elétrico	35
Capítulo 4 – Resultados e Discussão	36
4.1. – Combustão interna.....	36
4.2. – Elétrico	38
4.3. – Cenários	42
4.3.1. Frota 100% Elétrico.....	42
4.3.2. Auxiliar Local Elétrico	44
Capítulo 5 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros.....	49
Referências Bibliográficas	51
Anexos	54

Índice de Figuras

Figura 1. Navio <i>Energy Observer</i> , Fonte: energy-observer.org	15
Figura 2. Medição da distância em milhas náuticas ao viveiro de ostra mais distante pertencente aos habitantes da Culatra – <i>Google Earth</i> 2020	19
Figura 3. Área de produção de ostra e ameijoas e localização dos respetivos viveiros em que atuam os habitantes da Culatra. Figura adaptada do Diagnóstico do setor da produção oestreícola na Ria Formosa – Relatório das visitas técnicas – Abril 2017	19
Figura 4. Medição da distância em milhas náuticas entre a Ilha da Culatra e Olhão – <i>Google Earth</i> 2020	20
Figura 5. Limites do Parque Natural da Ria Formosa - ICNF 2020	21
Figura 6. Medição da distância em milhas náuticas da Ilha da Culatra ao limite leste do PNRF – <i>Google Earth</i> 2020.....	21
Figura 7. Medição da distância em milhas náuticas da Ilha da Culatra ao limite oeste do PNRF – <i>Google Earth</i> 2020	22
Figura 8. Área de atuação das atividades de pesca dentro das barras - <i>Google Earth</i> 2020	22
Figura 9. Embarcações típicas de apoio à moluscicultura.....	23
Figura 10. <i>OysterPro</i> - Embarcação elétrico-solar para apoio à atividade de moluscicultura – viveiros de ostra, com exemplo de carga abordo. Vista proa-bombordo.	24
Figura 11. Diagrama da distribuição da energia ao longo do ciclo da central/Sankey, Adaptado de EDP Produção, 2015, “Apresentação Geral de Sines”	27
Figura 12. Esquema simplificado de um grupo da central do Ribatejo adaptado de "Declaração Ambiental 2016 Ribatejo" [27]	28
Figura 13. Esquema simplificado de um grupo da central de Lares, adaptado de "Declaração Ambiental 2016 Lares" [28]	29
Figura 14. Processo do ciclo de vida do combustível desde a extração ao consumo – <i>Well to Propeller</i>	33
Figura 15. Balanço da energia total despendida <i>Well to Tank</i> para combustíveis com base no crude Fonte: WELL-TO-TANK Report Version 4.a, 2014 http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec	33
Figura 16. Balanço de emissões de GEE <i>Well to Tank</i> para combustíveis com base no crude. Fonte: WELL-TO-TANK Report Version 4.a, 2014 http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec	34
Figura 17. Comparação entre fases do processo <i>Well-to-Propeller</i>	38
Figura 18. Comparação entre tecnologias de propulsão, combustão VS elétrico, para diferentes fases do combustível e diferentes cenários de rede elétrica, considerando 100% da frota.....	43
Figura 19. Comparação entre tecnologias de propulsão, combustão VS elétrico, para diferentes fases do combustível e diferentes cenários de rede elétrica, admitindo redes exclusivamente renováveis ou fosseis com uma só fonte energética. Considerando 100% da frota.	44
Figura 20. Comparação entre tecnologias de propulsão, combustão VS elétrico, para diferentes fases do combustível e diferentes cenários de rede elétrica, considerando apenas AL (28% da frota) e consumos reais aproximados.	46
Figura 21. Comparação entre tecnologias de propulsão, combustão VS elétrico, para diferentes fases do combustível e diferentes cenários de rede elétrica, admitindo redes exclusivamente renováveis ou fosseis com uma só fonte energética. Considerando apenas AL (28% da frota) e consumos reais aproximados.	46
Figura 22. Comparação de emissões de CO _{2eq} entre tecnologias de propulsão por milha náutica navegada, e entre a frota completa e a parcela AL.	47

Figura 23. Comparação das emissões de gCO _{2eq} anuais para as diferentes parcelas da frota, tipos de propulsão e redes elétricas de diferentes fatores de emissão.	48
Figura 24 Anexo - Embarcações típicas de apoio à moluscicultura. Vista de proa.	54
Figura 25 Anexo - Embarcações típicas de apoio à moluscicultura. Vista de través de bombordo.	54
Figura 26 Anexo - OysterPro - Embarcação elétrico-solar para apoio à atividade de moluscicultura – viveiros de ostra. Vista de través de estibordo.	55
Figura 27 Anexo - OysterPro - Embarcação elétrico-solar para apoio à atividade de moluscicultura – viveiros de ostra. Vista em corte. Detalhe da disposição do banco de baterias.	55
Figura 28 Anexo - OysterPro - Embarcação elétrico-solar para apoio à atividade de moluscicultura – viveiros de ostra. Vista de popa-bombordo.	56

Índice de Tabelas

Tabela 1. Estimativa do consumo final de energia em MWh e emissões calculadas de CO ₂ em tCO ₂ na Ilha da Culatra em 2018; Adaptado de “ <i>Clean Energy Transition Agenda; Culatra Island, Portugal; Version November 2019</i> ”	4
Tabela 2. Fator de emissão padrão, utilizado pelo convénio de presidentes de município. Adaptado de “ <i>Clean Energy Transition Agenda; Culatra Island, Portugal; Version November 2019</i> ”	5
Tabela 3. Estimativa das milhas náuticas navegadas por saída das embarcações de Pesca local	23
Tabela 4. Estimativa da média de milhas náuticas navegadas por saída pelas embarcações da Culatra	23
Tabela 5. Fatores de emissão de GEE em kg/TJ resultantes da combustão de carvão betuminoso - IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories	31
Tabela 6. Fatores de emissão em kg/TJ de GEE resultantes da combustão de Gás Natural - IPCC 2006 [39].....	32
Tabela 7. Coeficientes de conversão de GEE para CO _{2eq}	34
Tabela 8. Comparação de fatores de emissão de CO _{2eq} de diferentes referências por tecnologia de produção de eletricidade	35
Tabela 9. Propriedades Energéticas e de Emissões de GEE do combustível Gasolina Fonte: Heywood, J. B. (2005). <i>Internal combustion engine fundamentals</i> . New York: McGraw-Hill Education.	36
Tabela 10. Consumo total anual de combustível e correspondente consumo energético e emissões de GEE.....	36
Tabela 11. Energia e Emissões de GEE associadas à produção de Gasolina- Fonte: IPCC - WELL-TO-TANK Appendix 4 – Version – Description and input data per pathway.....	37
Tabela 12. Consumo energético e emissões GEE Well to Tank das embarcações da ilha.....	37
Tabela 13. Consumo energético anual e emissões de GEE associados às embarcações a combustão....	37
Tabela 14. Energia total consumida anualmente e correspondente fator de emissão para as embarcações a combustão.....	38
Tabela 15. Produção e Consumo energético, em GWh, na rede energética nacional, por fonte nos anos 2017, 2018 e 2019 – Dados REN, disponível em: https://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaMensal.aspx ..	39
Tabela 16. Média trianual da produção e consumo energético, em GWh, na rede energética nacional	39
Tabela 17. Produção média de energia elétrica nos últimos três anos, 2017, 2018 e 2019, nas centrais termoeletricas nacionais, Fonte: REN.....	40
Tabela 18. Massa de GEE emitida em cada central e fatores de emissão associados.....	41
Tabela 19. Consumo energético e emissões de GEE associados ao carregamento de baterias das embarcações elétricas com energia proveniente da rede energética nacional	42
Tabela 20. Quadro comparativo, em energia e emissões de GEE, das tecnologias de combustão e elétrico para 100% das embarcações da frota	43
Tabela 21. Dados das embarcações AL, consumo e utilização	45
Tabela 22. Quadro comparativo, em energia e emissões de GEE, das tecnologias de combustão e elétrico para a parcela da frota correspondente às embarcações AL (28% da frota total).....	45
Tabela 23. Comparação das emissões de gCO _{2eq} anuais para as diferentes parcelas da frota, tipos de propulsão e redes elétricas de diferentes fatores de emissão.	47
Tabela 24 Modelo de entrevista levada a cabo ao proprietários das embarcações profissionais da Ilha da Culatra. Continua	57
Tabela 25 Continuação. Modelo de entrevista levada a cabo ao proprietários das embarcações profissionais da Ilha da Culatra.	58

Siglas e Acrónimos

ACV	Análise de Ciclo de Vida
AGM	<i>Absorbent glass mat</i>
AL	Auxiliar Local
AMIC	Associação de Moradores da Ilha da Culatra
AP	Alta Pressão
APA	Associação Portuguesa do Ambiente
BP	Baixa Pressão
C.C.	Ciclo Combinado
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO _{2eq}	Dióxido de Carbono equivalente
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)
EC	Embarcação a Combustão
EES	Embarcação Elétrico-Solar
FV	Fotovoltaico
GEE	Gases de Efeito de Estufa
GWh	Giga-Watt-hora
H ₂	Hidrogénio
HP	<i>Horse Power</i>
Hz	Hertz
IEA	International Energy Agency
kg	Quilo
kHz	Quilohertz
kV	Quilovolt
kVA	Quilovolt-Ampere
kWh	Quilowatt-hora
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LHV	<i>Low Heating Value</i>
m ²	metro quadrado
mbar	milibar
MN	Milha Náutica
MP	Média Pressão
MT	Marítimo-Turística
MVA	Megavolt-Ampere
MW	Megawatt
MWe	Megawatt elétrico
MWh	Megawatt hora
MWth	Megawatt térmico
N ₂ O	Óxido nitroso
Nm ³	Newton-metro cúbico
NO _x	Óxidos de Azoto
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
Pa	Pascal
PCI	Poder Calorífico Inferior

PCS	Poder Calorífico Superior
PNIEC	Plano Nacional Integrado da Energia e Clima
PNEC	Plano Nacional da Energia e Clima
PNRF	Parque Natural da Ria Formosa
PRFV	Plástico Reforçado a Fibras de Vidro
PVC	Policloreto de Vinil
REN	Redes Energéticas Nacionais
RNC	Roteiro Nacional para a Neutralidade Carbónica
rpm	rotações por minuto
TJ	Tera-Joule
TL	Tráfego Local
UALG	Universidade do Algarve
UE	União Europeia
V	Volt
VE	Veículo Elétrico
VCI	Veículo a Combustão Interna
VDC	Volt <i>Direct Current</i>

Capítulo 1 – Introdução

1.1. – Enquadramento

Assiste-se atualmente à transição cada vez mais acelerada dos meios de transporte rodoviários com motores de combustão para outros alegadamente mais limpos do ponto de vista ecológico como os veículos elétricos e a hidrogénio, sendo destes os elétricos os mais desenvolvidos e em número rapidamente crescente nas estradas. No entanto, esta transição não é tão falada nem está a acontecer de forma tão expedita no sector dos transportes marítimo-fluviais.

Neste sentido, foi feito o primeiro contacto com a empresa de construção naval especializada no desenvolvimento e fabricação de embarcações electro solares, a Sun Concept. A Sun Concept é uma empresa sediada no concelho Olhão que nasce em 2015 fruto da preocupação ambiental e de sustentabilidade de um grupo de investidores, assim como a crescente orientação ecológica dos mercados, tendo como finalidade apostar na ergonomia do design industrial de cascos. Vocacionada na construção naval especializada no desenvolvimento e fabricação de embarcações electro solares, a Sun Concept apresenta conceitos inovadores dotados de uma eficiência técnica e ambiental superior, afirmando não existir até à data nenhum construtor naval à escala mundial que apresente produtos semelhantes no que toca, principalmente, ao fator de relação preço/qualidade. Assim, a Sun Concept atua na área do fabrico de embarcações não poluentes, energeticamente eficientes e independentes, para os sectores de recreio e profissional (turismo e pesca) com propulsão electro solar, promovendo a utilização de energias renováveis no sector da Náutica. João Bastos, Diretor-geral da Sun Concept, foi responsável por fazer a ponte entre esta dissertação, ainda em fase embrionária, e o projeto “Culatra 2030”, no qual, desde o início, a empresa está envolvida no desenvolvimento de uma embarcação electro solar de apoio à atividade de aquicultura, nomeadamente no apoio à produção de ostra em viveiro e apanha de ameijoa, e futuramente para a atividade de pesca profissional. Esta embarcação tem sido desenvolvida em estreita relação com a Associação de Moradores da Ilha da Culatra (AMIC) de forma a melhor satisfazer as necessidades dos seus futuros utilizadores.

Enquadrada nesta iniciativa, surge então a presente dissertação a qual se propõe a mostrar o impacto da atual frota de embarcações a combustão, tanto a nível de emissões de gases poluentes atmosféricos como em ruído subaquático. Para o efeito foram conduzidas entrevistas aos proprietários das atuais embarcações de forma a obter informação detalhada sobre as mesmas, o tipo de motor e combustível utilizado, e também a utilização e consumos diários, entre outros. Possibilitando desta forma obter uma estimativa da energia anual consumida, em kWh, e as consequentes emissões de GEE, em CO_{2eq}. Obtendo-se assim um quadro comparativo entre as duas tecnologias.

Embora com as limitações já apontadas no resumo deste estudo, procura-se nesta dissertação perceber a influência que o ruído subaquático provocado por embarcações com motores de combustão tem na fauna marinha do Parque Natural da Ria Formosa (PNRF). Vários estudos mostram que o ruído provocado por pequenas embarcações, como as estudadas, tem influência negativa na fauna subaquática, nomeadamente em algumas das espécies mais icónicas da Ria Formosa, como a ostra e cavalo-marinho. Magalhães, M (2016) conclui que ruído antropogénico tem influência direta nas populações selvagens de *H. guttulatus*. Os indivíduos observados

mostraram sinais de *stress* na presença de ruído causado por pequenas embarcações transientes e ancoradas diretamente acima dos animais [1].

A ostra apresenta sensibilidade a frequências num intervalo entre $10 < 1000$ Hz, este sentido pode desempenhar um papel importante na sincronização da desova e no seu sucesso, participando indiretamente no controlo da dinâmica da população [2]. O intervalo de “audição” da ostra é afetado pelo ruído produzido por pequenas embarcações, que emitem frequências de 0.1 a 5 kHz. [3] Representando a aquacultura na Ria Formosa cerca de 41% da produção nacional, e estando a ostra incluída nesta produção, é importante considerar o ruído provocado pelo tipo de embarcações que ali navegam.

A Ilha da Culatra

A Ilha da Culatra, situada na região mais a Sul de Portugal Continental, o Algarve, é uma das cinco ilhas barreira que compõem o PNRF. Esta área foi legalmente constituída Reserva Natural em 1978 e em 1987 passa a Parque Natural o qual é constituído por um sistema de ilhas barreira com múltiplas entradas que fazem a ligação entre a ria e o oceano atlântico. Este é um sistema único e uma das zonas costeiras mais estudadas de Portugal sobre vários tópicos, como a geomorfologia e dinâmica costeira, ecologia, biodiversidade, economia e valores sociais. Nos seus $8,4 \times 10^7$ m² o PNRF é caracterizado por grandes sapais, planos de areia, uma complexa rede de canais naturais e parcialmente dragados, e pela sua extrema dinâmica relacionada com a evolução da entrada de marés, a evolução da linha de costa, deriva do litoral, formação de dunas, processos de criação de barreiras e ações de alimentação artificial.

A Ilha da Culatra, com cerca de 7 km de comprimento e largura máxima de 1,2 km, compreende uma área total de 4,34 km², habitada atualmente por cerca de 1000 pessoas que vivem principalmente da pesca e turismo. A ilha apenas é acessível via marítima desde Faro ou Olhão e só é possível explorar a pé, por passadiços, visto não existirem estradas pavimentadas.

A ilha é constituída por três núcleos populacionais, Culatra, Hangares e Farol, tendo respetivamente 759, 103 e 84 habitantes. Os dois primeiros ocupados em maior permanência, enquanto que a maioria dos edifícios do Farol apenas são ocupados sazonalmente. A ilha pode, no entanto, também ser dividida em três áreas diferentes de acordo com as suas características morfodinâmicas. O extremo oeste da ilha é parcialmente artificial devido aos molhes da barra Faro-Olhão, construídos entre 1927 e 1955, e um paredão/molhe contruído no início dos anos 80 para a proteção do núcleo habitacional do Farol. Anos estes em que a população cresceu rapidamente ao longo de uma antiga abertura. A área central da ilha, habitada de forma permanente e exclusiva na margem interna da ilha (Hangares e Culatra), era a localização histórica de uma entrada que, à semelhança das restantes entradas naturais do sistema, costumava migrar para leste. A morfologia desta área reflete as diversas idades dos corpos de areia com cordilheiras alternadas de dunas com antigos canais de maré. Na área a leste, desocupada, ocorre uma evolução dominada pela entrada da corrente de maré, com a formação de pontas de areia. A morfologia é constituída por cordões de areia separados por canais de maré ativos na parte interna e lavagem no lado do oceano. Nesta área pode ocorrer lavagem excessiva sob o efeito combinado de tempestades e grandes marés.

História da Culatra

O fixação de pessoas e casas na ilha da Culatra data do início do século 16, resultado de um movimento sazonal de pessoas que iam trabalhar nas comunidades de pesca da sardinha. Desde então o envolvimento dos cidadãos está fortemente presente na criação e desenvolvimento desta comunidade. Devido à abundância de peixe, moluscos e às águas calmas da Ria, algumas famílias decidiram estabelecer-se na ilha construindo habitações temporárias. Após estes primeiros, seguiu-se um movimento de migração crescente para a ilha e a consequente multiplicação das habitações. Dado o carácter de isolamento territorial desta comunidade, o isolamento social tornou-se pronunciado e esta não foi contemplada no melhoramento das condições gerais de vida criado pela administração local. De forma a contrariar esta exclusão, a comunidade local envolveu-se levando a cabo ações coletivas para reclamar o direito às necessidades básicas, como eletricidade, água potável, saneamento, educação, saúde, planeamento urbano, entre outros. Neste contexto é criada a AMIC, em 1987. Desde então a ilha tem sido equipada de infraestruturas que melhoraram significativamente a vida social e económica da comunidade. Desde a sua criação o foco da AMIC tem sido na criação de condições para garantir a continuidade, sustentabilidade e dignidade da comunidade, preservando identidade e defesa da comunidade piscatória da Culatra. Recentemente, o Governo Português reconheceu a presença da comunidade tendo-lhe concedido o estatuto legal para ocupação do domínio marítimo público. Os habitantes receberam concessões de utilização do espaço para os próximos 30 anos legalizando assim as suas habitações. Estas concessões podem ser renovadas se as famílias provarem a continuidade das atividades piscatórias na ilha.

Governo local

A ilha de Culatra, está inserida no concelho de Faro, um dos 16 municípios da região do Algarve. O município estabeleceu um conjunto de medidas no contexto da Sustentabilidade Energética e do Plano de Ação Climática, num convénio de Presidentes de Câmara, o Pacto dos Autarcas. Além desta iniciativa, existe ainda o Plano Intermunicipal de Adaptação às Alterações Climáticas, o qual se foca nas vulnerabilidades climáticas e na adoção de estratégias para os municípios. Entre as medidas a adotar destacam-se, na área da energia, a promoção da arquitetura bioclimática nos edifícios existentes, fachadas e telhados, e ainda o encorajamento da utilização inteligente de eletricidade e utilização de energia renovável no geral.

Atividade económica

As principais atividades económicas na Ilha da Culatra são a pesca e o turismo, em estreita ligação com a Ria Formosa. Esta reserva é a mais produtiva zona de aquacultura em Portugal, representando cerca de 41% da produção Portuguesa, composta por moluscicultura, atividade preponderante, e piscicultura. Esta atividade da pesca e apanha de moluscos, ao contrário do turismo, sofre menos com a sazonalidade, e como tal representa a fonte de rendimento para a grande maioria dos habitantes da Culatra. Assim, o número de embarcações da comunidade é, portanto, elevado, com cerca de 128 embarcações registadas para a pesca local e costeira. Mais recentemente, devido ao

crescimento do turismo em toda a região do Algarve, na Ilha da Culatra foram também criadas mais infraestruturas para dar resposta a esta procura. A comunidade conta agora com 8 restaurantes e bares, 5 estabelecimentos comerciais e 3 de prestação de serviços.

Sistema energético da Ilha

Dos três aglomerados populacionais da Ilha da Culatra, Farol, Hangares e Culatra, apenas este último está ligado ao cabo submarino que faz chegar energia elétrica à ilha. Este aglomerado é também o foco desta transição energética dado o seu caráter legal. Sendo parte das habitações na zona do Farol e todas as da zona Hangares totalmente autónomas verifica-se que 25% das habitações totais da Ilha da Culatra não estão ligadas à rede. Não havendo medições da energia final consumida na ilha, e no âmbito da apresentação de dados na Agenda Final de Transição da Culatra, foi feita uma estimativa baseada em estatísticas nacionais e locais de consumo de energia, combinadas com assunções apropriadas do uso. Os resultados da estimativa e das emissões calculadas para a ilha são mostrados na Tabela 1. As emissões foram calculadas usando fatores de CO₂/MWh para tipos de combustíveis específicos, de forma a estimar um padrão de emissões de CO₂ na ilha. Estes valores são mostrados na Tabela 2. Estes são os valores padrão do fator de emissão e não o fator da análise de ciclo de vida. Foi usado para calcular as emissões associadas ao consumo de eletricidade o fator nacional para eletricidade consumida, 0,369 tCO₂/MWh. [4]

Tabela 1. Estimativa do consumo final de energia em MWh e emissões calculadas de CO₂ em tCO₂ na Ilha da Culatra em 2018; Adaptado de “Clean Energy Transition Agenda; Culatra Island, Portugal; Version November 2019”

Dados para o ano 2018	Consumo final de energia [MWh]	Emissões de CO ₂ [tCO _{2eq}]
Consumo de eletricidade		
Habitações	2079,0	767,0
Setor primário	1039,0	383,0
Indústria	0,0	0,0
Setor terciário	159,0	59,0
Transporte na ilha		
Veículos, gasoleo	31,0	8,0
Veículos, gasolina	85,0	21,0
Transporte de e para a ilha		
Transporte marítimo, gasoleo	317,0	85,0
Transporte marítimo, gasolina	3799,0	946,0
Combustíveis para aquecimento		
Gás	610,0	123,0
Gasoleo	16,0	4,0
Gasolina	8014,0	1995,0
Total	16149,0	4391,0

Tabela 2. Fator de emissão padrão, utilizado pelo convénio de presidentes de município. Adaptado de “*Clean Energy Transition Agenda; Culatra Island, Portugal; Version November 2019*”

Tipo	[tCO ₂ /MWh]
Motor a gasolina	0,249
Gasoleo	0,267
<i>Fuel Oil</i> Residencial	0,279
Gás Natural	0,202

Analisados os dados, conclui-se que o sector que mais energia consome é o aquecimento, representando 54% de toda a energia consumida. O segundo maior sector foi o transporte de e para a ilha com 25%, seguido da eletricidade com 20%, e o menor consumo, de 1%, é correspondente ao transporte na ilha.

No que toca às emissões de CO₂, e embora com percentagens diferentes, os sectores respeitam quase a mesma distribuição que no consumo de energia devido ao tipo de combustíveis consumidos na ilha. Assim, 48% para aquecimento, 28% eletricidade, 23% transporte de e para a ilha e 1% para transporte na ilha.

Quando analisada esta estimativa de valores, é importante realçar que será necessária uma avaliação mais elaborada do sistema energético da ilha de forma a apresentar conclusões mais precisas. Um dos objetivos da presente dissertação é estimar, com o maior rigor possível, a energia gasta, e as emissões de CO_{2eq}, associadas às embarcações de pesca local e auxiliares da atividade de moluscicultura que exercem na ilha, mais precisamente no aglomerado populacional Culatra.

Eletricidade

Não existe atualmente injeção de energia proveniente de fontes renováveis na rede elétrica da ilha. Pode apenas afirmar-se que a energia renovável consumida na ilha é aquela que a mistura da produção elétrica Portuguesa apresenta num dado momento, fornecida pelo cabo submarino. No entanto, isto não pode ser considerado nos períodos em que o cabo submarino não funciona, e tem de ser utilizado o gerador a gasóleo (410kVA, 380V) presente na ilha. Contudo, mesmo sem injeção na rede, várias habitações da ilha produzem energia elétrica renovável para satisfazer as suas necessidades individuais. Energia que armazenam em baterias para consumir mais tarde.

Aquecimento e arrefecimento

O recurso a aquecimento na ilha ocorre maioritariamente no inverno e caracteriza-se por aquecimento elétrico e bombas de calor. O arrefecimento utilizado na ilha é residual, a maioria das habitações são de construção simples e não estão eficazmente isoladas. Dado que a maioria dos habitantes depende de um rendimento baixo e flutuante, proveniente da atividade piscatória, uma grande percentagem da conta da eletricidade corresponde a aquecimento.

Transportes na ilha

O transporte na ilha está altamente condicionado pelo facto de não existirem estradas pavimentadas e o piso ser arenoso. Como tal, este é feito com recurso a alguns veículos como tratores e triciclos motorizados para levar bens necessários aos residentes com mobilidade reduzida. Todos estes veículos utilizam combustíveis fósseis.

Transporte de e para a ilha

O transporte de e para a ilha é feito pelo ferry que parte de Olhão ou Faro e passa pela Culatra e Farol. Os ferries que fazem estas viagens diárias são de motor de combustão interna a gasóleo, realizando quatro viagens na época baixa/inverno e oito na época alta/verão. O proprietário dos estabelecimentos comerciais da ilha transporta diariamente bens e combustível desde Olhão para a ilha. O pescado capturado diariamente é transportado para a lota Olhão em embarcações individuais dos próprios pescadores, a fim de ser conservado e vendido.

1.1.1. – Culatra 2030 e a transição energética

O projeto “Culatra 2030”, enquadra-se na iniciativa da Comissão Europeia para a energia limpa nas ilhas da União Europeia, tendo assim, com âmbito de catalisar a transição, criado o *The Clean Energy for EU Islands Secretariat*. A ilha da Culatra – Ria Formosa – Faro, servirá, a par de outras cinco ilhas europeias, como piloto para levar a cabo a transição para a sustentabilidade energética, de água e resíduos. Este projeto e todas as suas fases, é coordenado pela Universidade do Algarve em conjunto com a Associação de Moradores da Ilha da Culatra.

A transição energética a realizar na Ilha da Culatra vai ao encontro das políticas Europeias, Nacionais e Regionais. É, contudo, fundamental o envolvimento da comunidade local para o sucesso do projeto, quer na fase de planeamento quer no desenvolvimento de sistemas de energias renováveis, tais como comunidades energéticas ou similares. Neste sentido, a cooperação com o *The Clean Energy for EU Islands Secretariat* e outras autoridades reguladoras Europeias é essencial para formular e implementar uma estrutura regulatória especializada para operar os sistemas de energia limpa na ilha.

O planeamento, preparação e implementação do projeto Culatra 2030 exige a mobilização de distintos pilares que suportam e regulam o desenvolvimento da Ilha da Culatra. Assim, foi adotada uma abordagem participativa ao tema de forma a envolver e atribuir poder decisivo às comunidades locais em todo o processo. Assim, e conforme a *Clean Energy Transition Agenda* [5], foram considerados os seguintes pilares:

- Produção elétrica, armazenamento e distribuição;
- Climatização e eficiência dos edifícios;
- Transporte na ilha;
- Transporte de e para a ilha;
- Abastecimento e tratamento de água;
- Gestão e valorização de resíduos;

Para cumprir os objetivos propostos em cada um destes pilares alguns exemplos de estratégias e ações são apresentados abaixo.

- **Produção elétrica, armazenamento e distribuição**

O principal objetivo visa criar um sistema autossuficiente de produção de energia elétrica fotovoltaica, armazenamento em baterias e distribuição em rede inteligente. Para tal é necessário o dimensionamento e operação de um sistema autossuficiente de produção de energia elétrica fotovoltaica; o dimensionamento e operação de um sistema de armazenamento e controle de energia elétrica; delinear e instalar uma rede inteligente local que permita a utilização correta da energia identificando as horas de pico e a gestão eficiente dos recursos energéticos disponíveis.

- **Climatização e eficiência dos edifícios**

Com vista a aumentar a eficiência e capacidade de produção energética dos edifícios, estão planeadas intervenções nas infraestruturas públicas tais como a escola, o centro social, a associação de moradores, etc. É ainda necessário determinar a carga térmica e propor soluções sustentáveis, incluindo tecnologias de aquecimento e arrefecimento passivos; otimizar a qualidade do ar e a habitabilidade usando sistemas de ventilação e iluminação naturais; modernizar os edifícios da ilha integrando conceitos de bio arquitetura, tais como janelas adaptadas ao clima da ilha, melhorar as coberturas, isolamento térmico das paredes, gestão do consumo de água e da produção de resíduos.

Para tal, foi criado o Fundo de Sustentabilidade Verde Culatra 2030, gerido pela AMIC para a sustentabilidade ambiental da ilha, o qual permite aos residentes obter microcrédito para financiar soluções de energia passiva e produção descentralizada. O fundo é reforçado financeiramente com a gestão do fundeadouro, uma loja náutica, uma estação de serviço para veleiros, recolhendo contribuições dos visitantes por via da negociação de uma percentagem do preço do bilhete do *ferry*, realização de campanhas de sensibilização, eventos culturais, financiamento colaborativo, entre outros.

- **Transporte na ilha**

A descarbonização do sistema de transporte na ilha com foco nas atividades socioeconómicas e na mobilidade elétrico-solar pretende promover a utilização de embarcações solares nas atividades socioeconómicas dos residentes e visitantes de forma a reduzir o ruído ambiente e quantidade de embarcações com motores a combustão, incrementando o estatuto de qualidade ambiental da Ria Formosa; Projetar e instalar uma estação solar de carregamento de embarcações elétricas no porto de pesca; Desenvolver um sistema exclusivamente elétrico de transporte público na ilha.

Para dar este passo está a ser projetada uma embarcação elétrica com carregamento solar para as atividades de pesca e apanha de marisco, permitindo uma substituição gradual das embarcações com motores a combustão;

Encontrar financiamento a nível regional, nacional e europeu para investir neste tipo de embarcações; organizar e legislar o Domínio do Espaço Marítimo em conjunto com as entidades reguladoras e autoridades de modo a favorecer a utilização de embarcações elétrico-solares na Ria Formosa, especialmente aquelas ligadas ao turismo e ainda limitar o número de operadores Marítimo-Turísticos na Ria Formosa e privilegiar aqueles que utilizarem embarcações elétrico-solares.

- **Transporte de e para a ilha**

De forma a alcançar a descarbonização neste ponto é essencial envolver a principal empresa de transporte de e para a ilha no processo da Agenda de Transição, de forma a aceder a fundos de transição. Estes fundos permitirão à empresa que utilize hidrogénio verde como combustível na sua frota, tornando-a mais sustentável ambientalmente.

Será então desenvolvido um estudo de viabilidade para avaliar a utilização de hidrogénio verde e/ou energia elétrico-solar para alimentar a propulsão dos ferries de passageiros; criado um fundo ou financiamento colaborativo para contruir um ferry de passageiros movido a hidrogénio ou eletricidade solar; e feito o dimensionamento de um pequeno sistema de eletrolise da água para a produção de hidrogénio, armazenamento e utilização.

- **Abastecimento e tratamento de água**

Para a produção de água para autoconsumo está previsto dimensionar e operar um central escalável de dessalinização de água. A solução terá de ser simples e de fácil manutenção, de forma a que esta seja mantida pelos residentes; avaliar as melhores soluções e investimentos viáveis para o abastecimento e gestão de água com a Águas do Algarve e a Fagar, tais como soluções simplificadas para o pré-tratamento de águas sanitárias.

Para tal, um estudo de viabilidade da central de dessalinização está a ser levado a cabo pelo Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve, analisando as atuais tecnologias. É ainda necessário incentivar à redução do consumo de água da comunidade local e instalar sistemas de recolção de água para utilização comunitária; promover a certificação da água dos estabelecimentos comerciais, estabelecimentos públicos e residências; estudar a viabilidade do pré-tratamento de parte das águas residenciais utilizando o excesso de produção de energia renovável. O subproduto será utilizado para águas sanitárias reduzindo assim o consumo de água, as lamas utilizadas como fertilizante ou para a produção de biogás.

- **Gestão e valorização de resíduos**

De forma a usar a sustentabilidade da ilha como pilar para a transição e estabelecer um exemplo global na alteração o estilo de vida das comunidades, o tema da reutilização e redução do plástico foi escolhido como bandeira para a sustentabilidade ambiental. Neste sentido várias organizações não governamentais foram convidadas pelo grupo coordenador para sugerir ideias e criar uma “Ilha Verde, Livre de Plástico”, mostrando assim o empenho da comunidade e dar um exemplo de cidadania.

Várias ações estão previstas neste sentido, como criar o selo “Área Zero Plástico” (“Zero Plastic Zone”, ZP0 Seal), uma marca distinta a atribuir às entidades que demonstrem comportamentos positivos de acordo com a campanha, tais como a substituição dos plásticos de utilização única por materiais mais ecológicos e com menor pegada ecológica. Permitir que a comunidade assuma a capacidade e responsabilidade pela produção e gestão de resíduos da ilha; Organizar *workshops* temáticos direcionados aos residentes, visitantes e principais agentes económicos, mostrando as melhores práticas para reduzir, reutilizar e substituir plástico; Desenvolver campanhas de financiamento do Fundo de Sustentabilidade Verde Culatra 2030; Implementação de projetos inovadores no tratamento e gestão dos resíduos; Estudar e implementar novas soluções para a recolha e transporte dos resíduos dentro e para fora da ilha, substituindo os atuais tratores e embarcações com motores a combustão. Implementar a digitalização de resíduos de forma a reduzir as quantidades

e promover a separação, trazendo benefícios no custo da recolha; avaliar mecanismos para aproveitar resíduos da atividade piscatória para a produção de energia. [5].

1.2. – Objetivos

Enquadrado na iniciativa Culatra 2030, o objetivo principal desta dissertação é estudar o impacto da transição das embarcações de apoio às atividades de pesca e moluscicultura atualmente a combustão interna para embarcações elétrico-solares, caso sejam autossustentáveis ou necessitem de eletricidade armazenada proveniente da rede. O impacto é medido em termos de consumo energético e consequentes emissões de gases de efeito de estufa contabilizadas em CO_{2eq}. Este impacto será estudado para 100% e 28% de substituição da frota de embarcações, estabelecendo um quadro comparativo entre as duas tecnologias. Estas percentagens representam a totalidade das embarcações e aquelas de registo Auxiliar Local, respetivamente.

Estava inicialmente previsto realizar também a avaliação da hipotética redução do ruído subaquático, e seus efeitos na fauna do Parque Natural da Ria Formosa (PNRF), associado às embarcações a combustão face às elétrico-solares. Mas devido aos constrangimentos causados pela pandemia COVID-19, as atividades piscatórias viram-se suspensas, impossibilitando assim a obtenção de medições de ruído subaquático destas embarcações. Além disto, esta análise requeria a reunião de uma equipa especializada para instalação de sensores acústicos subaquáticos, o que também não era exequível no então declarado estado de emergência. Ficando assim a análise de impacto do ruído subaquático limitada a uma revisão bibliográfica.

1.3. – Organização do documento

A presente dissertação divide-se em cinco capítulos principais, Referências e Anexos, de acordo com a seguinte estrutura:

No capítulo 1 é feito o enquadramento de como surgiu o tema desta dissertação e como esta se insere no projeto "Culatra 2030" em desenvolvimento na Ilha da Culatra - Faro. Tanto a ilha como o projeto são aqui descritos. Neste capítulo são também apresentados os objetivos do estudo.

No capítulo 2 é feita a revisão bibliográfica abordando os temas da substituição de frotas a combustão para elétricas, do ruído e sua influência no meio subaquático, e ainda feita uma introdução às embarcações elétricas e elétrico-solares e sua história. É ainda feita referência aos objetivos do desenvolvimento sustentável das Nações Unidas (17ODS) e onde se enquadra a contribuição desta dissertação para o seu cumprimento.

No capítulo 3 são apresentados os métodos utilizados para a concretização dos objetivos apresentados no capítulo 1. É feita a caracterização das embarcações a combustão e da embarcação electro-solar que as substituirá. É também caracterizada a mistura energética da rede elétrica nacional com especial foco na parcela não renovável da mesma. Esta parcela é constituída por centrais termoeletricas, as quais também são aqui descritas, bem como o tipo de combustível que utilizam. Neste capítulo é também descrita a abordagem de análise de ciclo de vida "Well to Propeller" da gasolina utilizada pelas embarcações atuais, e os fatores de emissão de gases de efeito de estufa.

No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados das emissões de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ associadas a ambas as tecnologias, combustão e elétrico. Seguindo a abordagem Well to Propeller para a combustão, e a da quantidade de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ emitido na produção elétrica nacional para o elétrico.

No capítulo 5 são por fim apresentadas as conclusões deste estudo e possíveis desenvolvimentos futuros.

Capítulo 2 – Estado da Arte

Estando esta dissertação enquadrada num projeto de transição energética pioneiro, o Culatra 2030, a literatura disponível não oferece suficiente suporte para estabelecer linhas guia ou termo comparativo às métricas aqui estudadas, nomeadamente nas emissões de GEE diretamente ligadas à utilização de embarcações de propulsão mecânica com motores de combustão interna na atividade de moluscicultura e pesca. No entanto, várias publicações vêm ao encontro do âmbito deste projeto, que não só pretende atingir a sustentabilidade energética como reduzir o impacto direto no ecossistema envolvente à ilha. Como seja, a influência do ruído na fauna subaquática, mais concretamente no cavalo marinho e na ostra, causado pelas ECs. Verifica-se ainda a existência de alguns estudos de substituição de frotas a combustão para elétrico, não de embarcações, mas sim de veículos rodoviários, com as quais se poderá estabelecer um paralelismo.

- **Substituição de frotas convencionais por elétrico-solares**

Embora ainda pouco notório no meio náutico, assiste-se atualmente à substituição crescente dos meios de transporte convencionais, i.e., com motores de combustão interna (VCI), para alternativas alegadamente mais sustentáveis do ponto de vista ecológico a longo-prazo, como são exemplo os veículos elétricos (VE), híbridos e os movidos a hidrogénio. A completa substituição e extinção do veículo individual a combustão é algo que, a acontecer, só a longo prazo se poderá verificar, assistindo-se, no entanto, ao aparecimento de alguns estudos de substituição de frotas, nomeadamente da combustão para o elétrico. Em 2013, Rodrigues L. [6] apresenta as vantagens da substituição da frota de veículos do Departamento de Segurança Pública da Universidade de Villanova – EUA, das quais a redução das emissões de CO₂ em 58% utilizando energia da rede pública, e 78% com a instalação de um sistema fotovoltaico (FV) de 7,5 kW. Com retorno do investimento entre 6 a 8 anos conforme o cenário adotado. Gamas M. (2015) [7] estudou, no âmbito de dissertação de grau de Mestre em Eng. Mecânica, como beneficiária o município de Almada com a introdução de veículos na sua frota. Conclui que a substituição total da frota, com 68 veículos, resultaria na redução das emissões de CO₂ em 84,4%, passando de 205 gCO₂/km para 23.6 gCO₂/km. Falta, contudo, robustez, as estas análises. Estas apenas consideram as emissões associadas à utilização dos VCIs numa abordagem tank-to-wheel, em vez do ciclo de vida completo do combustível, Well-to-wheel. E apresentam também uma leve caracterização da rede elétrica que fará o carregamento dos VEs. Por oposição, Garcia R. (2016) [8], na sua dissertação de doutoramento mostra que a redução de emissões de GEE de uma frota de VEs depende em grande medida da intensidade de emissões de GEE do sistema elétrico, neste caso o Português, e da altura do dia em que são feitos os carregamentos, visto a participação de energias renováveis oscilarem ao longo do dia. Caso os carregamentos sejam feitos fora das horas de ponta, como seja, o período noturno, a introdução a curto-prazo de VEs no sistema elétrico português pode tornar estes mais poluentes que os VCIs, dado que neste período são habitualmente utilizados o carvão e o gás natural para gerar eletricidade. Mostrando ainda que a produção elétrica portuguesa pode oscilar entre 280 gCO_{2eq} e 609 gCO_{2eq} para o período entres os anos 2003 e 2014. À data da presente dissertação (2020) a EDP apresenta, em www.edp.pt/origem-energia/, um valor médio das emissões associadas à produção de energia de 250,34 gCO₂, entre clientes residenciais e pequenos negócios, clientes empresariais e EDP Comercial.

- **Ruído subaquático**

A aquacultura na Ria Formosa representa cerca de 41% da produção portuguesa sendo composta por moluscicultura, atividade preponderante, e piscicultura. As principais espécies cultivadas são a Amêijoia Boa (2100 t ano⁻¹) e a Ostra (183 t ano⁻¹), cultivados na zona entremarés da Ria. Os valores referidos são os que constam nas estatísticas, no entanto são frequentemente referidos valores muito superiores: ~ 5000 t ano⁻¹ para a Amêijoia Boa e ~ 2000 t ano⁻¹ para a Ostra. [9]

No que toca à influência do ruído subaquático na ostra, e embora não se trate da mesma espécie (Ostra Portuguesa, *Crassostrea Angulata*) produzida na ria formosa, sabe-se que larvas de ostra americana (*Crassostrea Virginica*) respondem a sons indicativos de locais de fixação ideais, sendo esta a primeira evidência que os sons estuarinos influenciam a fixação do molusco [10]. Já depois de fixada e desenvolvida, a ostra (*Magallana gigas*, Ostra do Pacífico) demonstra ter um sentido de “audição” respondendo a tons num determinado intervalo de frequências. A ostra é sensível a frequências entre 10 < 1000 Hz, apresentando maior resposta no intervalo 10-200 Hz com uma rápida diminuição da abertura de válvula, comportamento manifestado naturalmente quando detetam uma ameaça ou estão sob *stress* ou pressão especiais, contrastando com o estado de ampla e relaxada abertura indicativo do seu bem-estar [2] [11-13]. A sensibilidade da ostra ao ruído pode desempenhar um papel importante na sincronização da desova e sua eficiência, participando indiretamente no controlo da dinâmica da população [2]. Segundo alguns autores, pequenas embarcações de recreio, as quais produzem ruído entre 1–5 kHz não são “ouvidos” pela ostra [2], no entanto, outros concluem que pequenas embarcações com motores fora de borda produzem ruído num espectro de 0.1 a 5 kHz [3], espectro este que intersecta com o espectro de sensibilidade da ostra. A exposição ao ruído está também diretamente relacionada com a taxa de crescimento da ostra [14] [2] [3]. Dado que a frota de embarcações estudada utiliza o mesmo tipo de motorização comumente utilizada por pequenas embarcações de recreio é, portanto, de esperar que esta afete o desenvolvimento da ostra na Ria Formosa.

O cavalo-marinho, peixe da família syngnathidae, em particular a espécie *H. guttulatus* vive em águas de baixa profundidade, até 12 metros, ricas em alga marinha. [15] Visto que estas águas são onde as perturbações de origem antropogénica são mais comuns e intensas, e dada a baixa fecundidade, cuidado parental, sedentarismo, distribuição limitada, e fidelidade ao local onde se instala, o cavalo marinho é considerado altamente vulnerável ao impacte antropogénico [16] [17].

As duas espécies presentes na Ria Formosa, *Hippocampus Hippocampus* e *Hippocampus guttulatus*, ambas registaram, num intervalo de menos de 10 anos, uma redução de população dentro da Ria Formosa de 73% e 94% respetivamente [18]. É importante compreender melhor a vida do cavalo marinho e os parâmetros da sua população, pois estes contribuem para a biodiversidade marinha e funcionamento do ecossistema [17]. Esta importância é reforçada pelo facto de todo o género *Hippocampus* ter sido adicionado ao *Appendix II of the Convention of International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES)*, estabelecendo regulamentos para comércio e movimentos destas espécies [18].

Um estudo realizado em 2016 mostra que o ruído antropogénico tem influência direta nas populações selvagens de *H. guttulatus*. Os indivíduos observados mostraram sinais de *stress* na presença de ruído causado por pequenas embarcações transientes e ancoradas diretamente por cima dos animais [1]. Foram registados sinais como o aumento rápido dos movimentos operculares por minuto, e 30.6% dos animais

abandonaram o local de observação, mostrando assim o impacto negativo do ruído antropogénico subaquático nas populações de *H. guttulatus* na Ria Formosa.

De acordo com a bibliografia existente conclui-se que de facto existe influência negativa do ruído subaquático, proveniente da utilização de embarcações com motores de combustão, no ecossistema da Ria Formosa e nas espécies marinhas que contribuem para a sua sustentabilidade ambiental e comercial.

Como tal, o menor ruído associado à navegação das embarcações elétrico-solares atribui a estas uma significativa vantagem na preservação dos ecossistemas aquáticos face às comuns embarcações a combustão [19].

- **Embarcações elétricas e elétrico-solares**

Introdução

As embarcações elétrico-solares são embarcações de propulsão elétrica cujas baterias são carregadas utilizando a energia solar através de painéis solares fotovoltaicos.

Quem vive a bordo de embarcações de navegação interior, embarcações à vela ou “casas-barco”, com acesso limitado aos postos de carregamento em cais e docas, depende de baterias, assim como os proprietários de embarcações elétricas. Estas baterias perdem a sua carga com a utilização precisando de reabastecimento. Uma das soluções mais elegantes para isso é o recurso à “eletricidade solar”. Uma embarcação com módulos solares instalados pode carregar as suas baterias onde estiver de forma limpa e eficiente desde que haja radiação solar disponível.

História

A história das embarcações elétricas começa em 1838 quando o professor Moritz Jacobi faz, na Rússia, experiências com uma embarcação de propulsão elétrica de 7,32 metros. Até aos dias de hoje há algumas datas a salientar como em 1880 quando, em França, é estabelecido o primeiro recorde de velocidade de uma embarcação elétrica, 24 nós numa distância de 26 km. Em 1888 o “Viscountess Bury” é a maior embarcação elétrica, com capacidade para 84 passageiros. No mesmo ano, o Império Chinês encomenda embarcações de 15 metros de comprimento capazes de atingir os 9 nós. Em 1892 a exposição mundial em Chicago transporta mais de um milhão de visitantes em 55 embarcações elétricas por mais de 200 000 milhas sem avarias. Em 1901 três armadores operam aproximadamente 110 embarcações no rio Tamisa e no ano seguinte, 35 submarinos elétricos estão ao serviço da Marinha Francesa. Em 1982 aumenta o interesse pelas embarcações elétricas agora motivado pela mudança para a proteção ambiental. É criada a *Electric Boat Association*. As operadoras incluem obras de fornecimento de energia, escritórios britânicos de hidroviárias, autoridades de proteção ambiental e parques nacionais. As embarcações elétricas recebem 25% de desconto nas substanciais taxas do canal e da eclusa na Inglaterra. No ano de 1990 *Vaporetto Elettrico* abre um serviço em Veneza para 230 passageiros. 1993 ocorre o primeiro campeonato alemão de embarcações solares dois anos depois, em 1995, o primeiro campeonato europeu de embarcações solares é organizado. Acontece em La Rochelle, no Atlântico, na Suíça em três lagos, bem como em Berlim e Hamburgo. A canoa “Carl” vence com um motor elétrico

de 1,5 kW. Esta embarcação venceu até 1997 com a mais simples tecnologia, baterias pesadas de chumbo-ácido de 5 anos e um motor elétrico de 30 anos, fazendo a diferença com a tecnologia de hélice otimizada e um casco estreito. Ainda em 1995, no contexto da conferência mundial do clima, é inaugurado um posto de abastecimento solar.

Embarcações Solares

A história mostra que as embarcações elétricas não são novidade, contudo, os sistemas de aproveitamento fotovoltaico acoplados a estas são um desenvolvimento interessante, permitindo a independência destas embarcações da tomada, sendo a energia fotovoltaica uma fonte segura e autossuficiente. Estes sistemas de propulsão livres de emissões diretas, não só protegem o meio ambiente, como aumentam a qualidade da experiência de navegação. [20]

Existem atualmente embarcações elétrico-solares a operar em todo o mundo, desde a utilização privada, comercial até à científica, sendo de destacar o catamaran chamado *Energy Observer*, Figura 1. Este é um projeto que integra vários tipos de energias renováveis, solar fotovoltaica e eólica, utilizando as mesmas para a sua propulsão e durante as paragens para a produção de hidrogénio pela eletrólise da água do mar dessalinizada a bordo. Foi lançado em abril de 2017 e tem como objetivo completar a volta ao mundo em 6 anos, passando pelo maior número de países possível. Servindo também como laboratório flutuante onde a integração de energias renováveis será constantemente avaliada e posta à prova. Durante as paragens, recorrendo a um sistema de dessalinização da água do mar e à eletrólise alimentada por energia solar e eólica, o navio tem a capacidade de produzir e armazenar 60 kg de hidrogénio em oito tanques divididos em dois clusters de três metros, que posteriormente serão utilizados para produzir energia elétrica (e térmica), carregando as baterias, quando o solar e eólico não são suficientes. A energia do H₂ é obtida através de uma *fuel cell* (22kW) tendo como subproduto apenas água. A produção solar fotovoltaica é garantida por 130 m² de painéis (21 kW) e por duas turbinas eólicas de eixo vertical (2 x 1kW). O armazenamento de energia elétrica é feito por dois conjuntos de baterias, um de 400 V para propulsão, eletrólise e compressão de H₂, e outro de 4 V para a vida a bordo e equipamentos de controle e segurança. [21] Este projeto desenvolvido em colaboração com engenheiros da CEA-LITEN teve um custo de 4.2 milhões de euros e conta atualmente com mais de 70 parcerias entre elas a Accor, Toyota, Thémis, Delanchy e Engie. [22]



Figura 1. Navio *Energy Observer*, Fonte: energy-observer.org

- **Objetivos para a o Desenvolvimento Sustentável (ODS) e Contexto atual da transição energética 2030**

Foi definida, em 2015, a Agenda 2030 constituída por 17 objetivos de desenvolvimento sustentável. Esta agenda da Organização das Nações Unidas (ONU), entrou em vigor em 2016, e “(...) é uma visão comum para a Humanidade e um contrato social entre os líderes mundiais e povos”, disse o então secretário-geral da ONU, Ban Ki-moon, que acrescentou ainda que os 17 objetivos “são uma lista das coisas a fazer em nome dos povos e do planeta, e um plano para o sucesso”

Os 17 ODS, aprovados por unanimidade por 193 Estados-membros da ONU, visam resolver as necessidades das pessoas, tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento. Estes compõem uma agenda alargada e ambiciosa em várias vertentes do desenvolvimento sustentável (social, económico, ambiental) e que promove a paz, a justiça e instituições eficazes. Os 17 ODS são:

1. **Erradicar a pobreza** em todas as suas formas, em todos os lugares;
2. **Erradicar a fome**, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a nutrição e promover a agricultura sustentável;
3. **Saúde e qualidade** - Garantir o acesso à saúde de qualidade e promover o bem-estar para todos, em todas as idades;
4. **Educação de qualidade** - Garantir o acesso à educação inclusiva, de qualidade e equitativa, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos;
5. **Igualdade de género** - Alcançar a igualdade de género e empoderar todas as mulheres e raparigas;
6. **Água potável e saneamento** – Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos;

7. **Energias renováveis e acessíveis** - Garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas para todos;
8. **Trabalho digno e crescimento económico** – Promover o crescimento económico inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho digno para todos;
9. **Indústria, inovação e infraestruturas** - Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;
10. **Reduzir as desigualdades** - Reduzir as desigualdades no interior dos países e entre países
11. **Cidades e comunidades sustentáveis** - Tornar as cidades e as comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis;
12. **Produção e consumo sustentáveis** - garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis
13. **Ação climática** - Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos;
14. **Proteger a vida marinha** - Conservar e usar de forma sustentável os oceanos, mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável;
15. **Proteger a vida terrestre** - Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda de biodiversidade;
16. **Paz, justiça e instituições eficazes** - Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas a todos os níveis;
17. **Parcerias para a implementação dos objetivos** - Reforçar os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

O projeto Culatra 2030 enquadra-se claramente nesta agenda e em vários ODS, tendo alguns objetivos em comum, nomeadamente nos pontos 6. Água potável e saneamento, 7. Energias renováveis e acessíveis, 11. Cidades e comunidades sustentáveis, 12. Produção e consumo sustentáveis, 13. Ação climática; 14. e 15. Proteger a vida marinha e terrestre, e 17. Parcerias para a implementação dos objetivos. [23]

Além de integrado nesta iniciativa mundial, o projeto Culatra 2030 está ainda de acordo com estratégias a nível europeu e nacional para a transição energética.

Foi apresentado em 2016 pela Comissão Europeia um pacote de medidas para fornecer uma estrutura legislativa estável necessária para facilitar a transição energética, tendo sido estabelecido pelo Regulamento (UE) 2018/1999 que todos os Estados Membros criassem um Plano Nacional Integrado de Energia e Clima (PNIEC), com horizonte de médio prazo (2021-2030), e o apresentassem à Comissão Europeia. Neste sentido. Foi então criado o Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC) em articulação com o Roteiro Nacional para a Neutralidade Carbónica (RNC2050) que pretende atingir a neutralidade de GEE para Portugal até 2050. Este objetivo implica reduções nas emissões de GEE entre 85-90%, sendo que a maior redução terá de ocorrer na década 2020-2030 com reduções entre -45% a -55%.

Após o reconhecimento no Acordo de Paris da vulnerabilidade às alterações climáticas e dependência de combustíveis fósseis e importações de energia por parte das ilhas, em maio de 2017 14 Estados Membros assinaram a Declaração Política sobre Energia Limpa para as Ilhas da EU, tendo sido criada semanas mais tarde a Iniciativa Energia Limpa para as Ilhas da EU. Com o objetivo de promover o uso de energias renováveis, criar emprego, crescimento económico e reduzir as emissões de gases de efeitos de estufa, esta iniciativa assenta em três vetores essenciais: (1) promover a autossuficiência energética das ilhas; (2) incentivar a redução da dependência de importações de combustíveis fósseis; e (3) oferecer as melhores soluções adaptadas caso a caso com vista a promover as energias renováveis nas ilhas. A fim de coordenar o trabalho diário da Iniciativa e facilitar a transição, foi criado em 2018 o Secretariado

das Ilhas da EU. Este processo será um processo participativo envolvendo as autoridades, universidades, cidadãos e empresas, de forma a reunir as visões que essas partes interessadas têm para suas próprias comunidades e ajudá-las a moldar e avançar a transição de energia limpa nas suas ilhas.

No início de 2019 a Universidade do Algarve, em colaboração com a Associação de Moradores da Ilha da Culatra (AMIC), submeteu uma proposta ao Secretariado Europeu das Ilhas da UE. Vindo a ser a Ilha da Culatra selecionada para que seja uma das seis ilhas piloto que receberá apoio técnico para desenhar uma Agenda para a Transição Energética. No dia 24 de março o projeto foi apresentado às comunidades da ilha no Polidesportivo do Clube União Culatrense na Ilha da Culatra. No dia 27 de março, foi assinado um Memorando de Entendimento entre o Secretariado Europeu das Ilhas da EU a Universidade do Algarve, a Associação de Moradores da Ilha da Culatra, a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da Região do Algarve e a Câmara Municipal de Faro. [24]

Capítulo 3 – Métodos

Neste capítulo são abordadas, em subcapítulos, as metodologias utilizadas na realização deste trabalho. Sendo estas: a caracterização das atuais embarcações a combustão, obtenção e tratamento de dados; a caracterização da embarcação elétrica que fará a substituição; a caracterização da mistura energética que compõe a rede elétrica nacional com foco na parcela das energias não renováveis e suas fontes; a abordagem “*Well to Propeller*” de Análise de Ciclo de Vida (ACV) e a identificação e explicação dos fatores de conversão dos GEE para CO_{2eq}; e a apresentação dos cenários de estudo.

3.1. Caracterização das embarcações a combustão

Segundo dados fornecidos pela Associação de Moradores da Ilha da Culatra, existem associadas à ilha cerca de 225 embarcações atualmente todas com motores de combustão interna. Estas embarcações têm diferentes tipos de registo conforme a atividade a que se destinam, sendo estes, Marítimo Turísticas (MT), Pesca Local (L), Auxiliar Local (AL), Transporte Local (TL), Pesca Costeira (C) e Recreio. No âmbito deste estudo foram conduzidas entrevistas aos proprietários das embarcações de modo a caracterizar a frota de embarcações com registo AL, TL e Pesca Local (modelo de entrevista em anexo), pois estas são o principal alvo da transição energética da combustão interna para o elétrico-solar, com especial incidência nas embarcações AL e TL na primeira fase da transição, sendo estas destinadas principalmente ao apoio da atividade de produção de ostra em viveiro e apanha de ameijoas.

Foram contabilizadas 83 embarcações no ativo, 19 AL, 5 TL e 59 de Pesca Local, e caracterizadas quanto às características da embarcação, motorização e utilização, respondendo os proprietários das mesmas a um inquérito organizado da seguinte forma:

Embarcação:

- Nome da embarcação
- Proprietário
- Tipo de embarcação
- Comprimento (metros)
- Boca (metros)

- Peso vazio (t)
- Peso carga (t)

Motor

- Tipo (4 ou 2 Tempos)
- Marca
- Ano/Idade
- Combustível
- Potência (HP)

Utilização

- Consumo médio diário combustível (€)
- Consumo médio diário combustível (Litros)
- Distância média percorrida diariamente (milhas náuticas)
- Saídas por semana (dias)
- Meses de atividade por ano
- Velocidade média descarregado (nós)
- Velocidade média carregado (nós)

Os dados resultantes das entrevistas foram organizados e tratados utilizando a ferramenta Excel – Microsoft Office e serão apresentados no capítulo resultados, com exceção do parâmetro da utilização “Distância média percorrida diariamente (milhas náuticas)”.

A questão da distância percorrida por saída suscitou dificuldade em responder por parte dos inquiridos. Isto porque as atividades quer da pesca local quer do apoio das embarcações aos viveiros de ostra não se desenrolam nos mesmos locais diariamente e o número de saídas também varia. Como tal, e de forma a conseguir uma estimativa o mais aproximada possível da realidade as embarcações foram divididas novamente em três grupos correspondentes ao tipo de registo (AL, TL e Pesca Local) e atividade associada ao mesmo.

Assim, para as embarcações AL, as que prestam auxílio à atividade de moluscicultura, foi medida a distância ao viveiro de ostra mais distante pertencente aos habitantes da Ilha da Culatra utilizando a ferramenta “Régua” no programa Google Earth Pro. Sendo que este viveiro dista aproximadamente 1,5 milhas náuticas da Ilha (Figura 2.), uma viagem de ida volta resulta em aproximadamente 3 milhas náuticas. Visto que este é o viveiro mais distante e os viveiristas desenvolvem a sua atividade em diversos viveiros mais próximos, não percorrendo esta distância a cada saída, considera-se que uma boa estimativa para a distância média percorrida por saída pelas embarcações AL seja de 1,5 MN. Na Figura 3 está representada a área circundante à Ilha da Culatra e as localizações dos viveiros produtores de ostra e ameijoas.

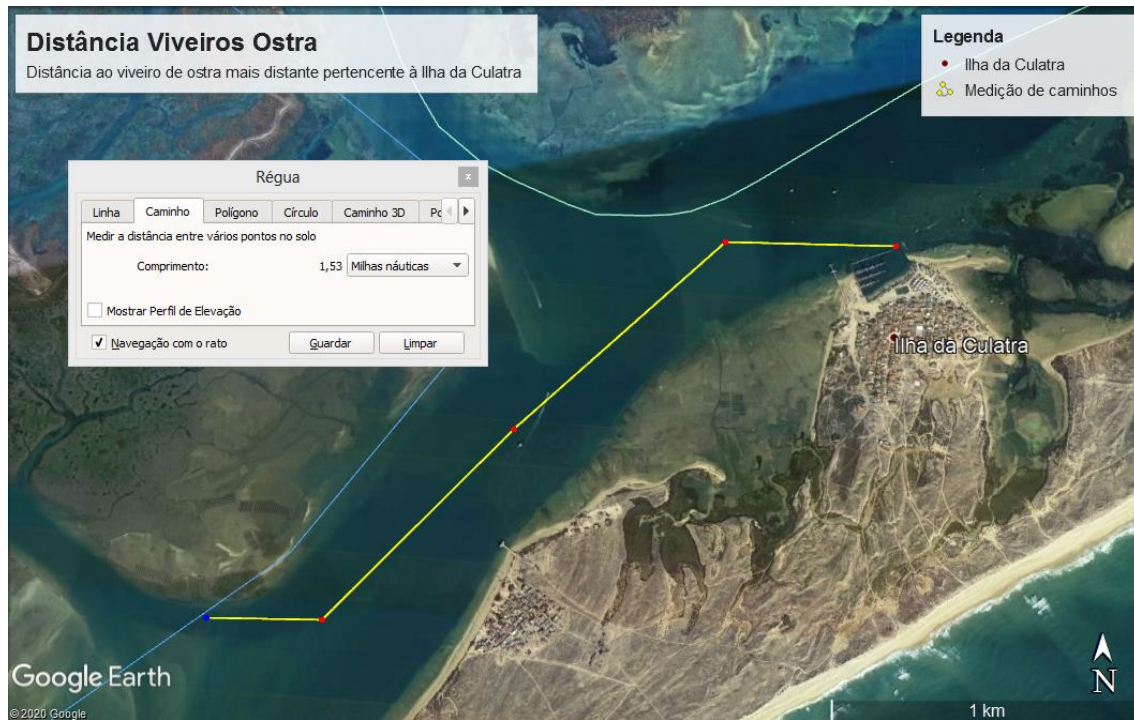


Figura 2. Medição da distância em milhas náuticas ao viveiro de ostra mais distante pertencente aos habitantes da Culatra – Google Earth 2020

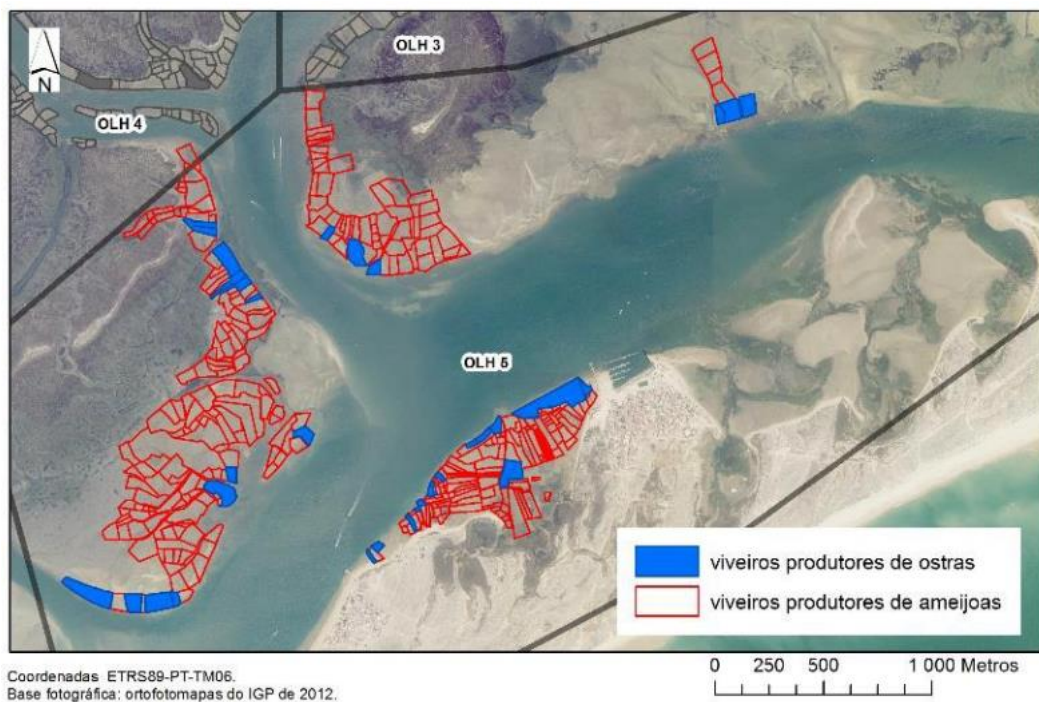


Figura 3. Área de produção de ostra e ameijoas e localização dos respetivos viveiros em que atuam os habitantes da Culatra. Figura adaptada do Diagnóstico do setor da produção oestreícola na Ria Formosa – Relatório das visitas técnicas – abril 2017

As embarcações TL, destinadas ao transporte local de mercadorias e marisco são utilizadas essencialmente para percorrer a distância entre a Ilha da Culatra e Olhão, utilizando o mesmo recurso foi medida uma distância de aproximadamente 2,80 MN (Figura 4.), ou seja, por saída, ida e volta, estas embarcações percorrem aproximadamente 5,6 MN.

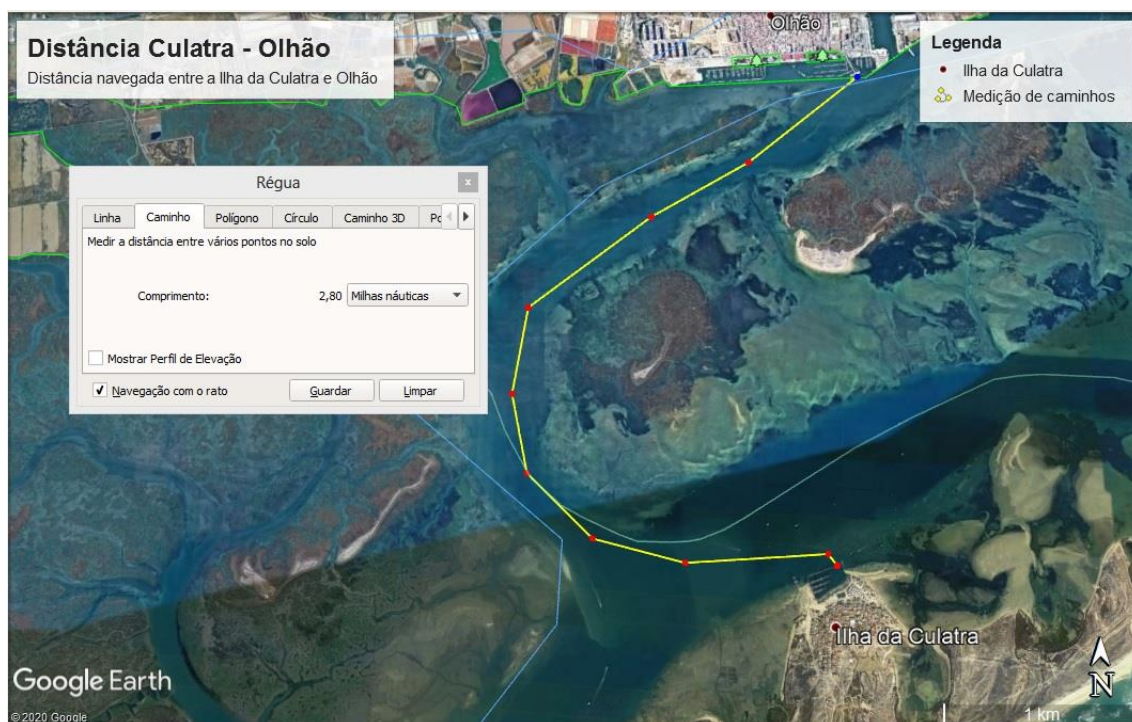


Figura 4. Medição da distância em milhas náuticas entre a Ilha da Culatra e Olhão – Google Earth 2020

Os proprietários das embarcações de Pesca Local, à semelhança das AL, desenvolvem a sua atividade em locais distintos. Neste caso ainda mais diferentes entre si visto que algumas destas embarcações nunca deixam as águas abrigadas da Ria Formosa enquanto outras navegam fora das barras até aos limites do Parque Natural (Figura 5.). Estes limites correspondem à navegação de 16,5 MN para Este ou 13 MN para Oeste (Figura 6. e Figura 7.), estabelecendo-se aqui uma média de 14,75 MN para a navegação até aos limites do Parque, 29,5 MN ida e volta. Dado que algumas embarcações fazem, por vezes, duas saídas diárias navegando até aos limites do parque e outras ficam apenas no interior da ria, o que não ultrapassa 2 MN (Figura 8.) aproximadamente às barras de Oeste ou Este, 4 MN ida e volta, foi necessário estabelecer uma forma de estimar as distâncias percorrida por saída destas embarcações. Utilizando a função “CONTAR” do Microsoft Excel foram contadas quantas embarcações gastam acima de 30€ de combustível e quantas gastam menos e foram-lhes atribuídas as distâncias de navegação de 14,75 MN e 2 MN respetivamente, tendo posteriormente sido calculada a média ponderada destes valores, resultando numa estimativa da navegação média por saída das embarcações de pesca local de 12,16 MN. Estes resultados são apresentados na Tabela 3.



Figura 5. Limites do Parque Natural da Ria Formosa - ICNF 2020

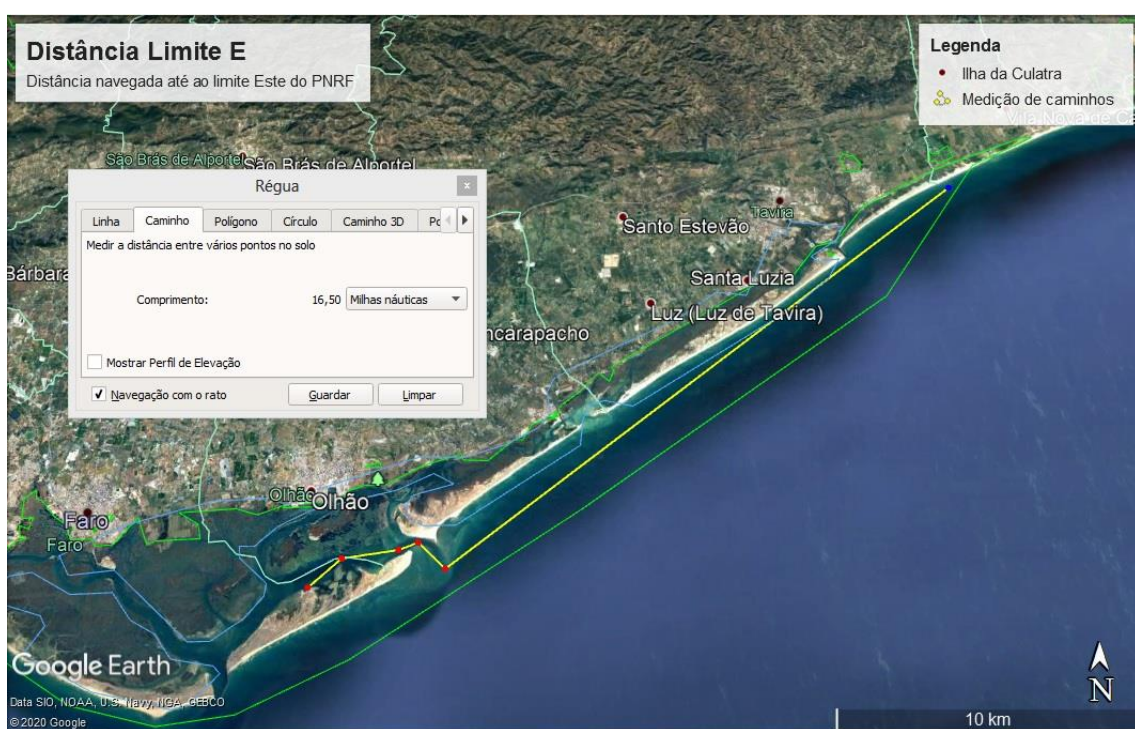


Figura 6. Medição da distância em milhas náuticas da Ilha da Culatra ao limite leste do PNRF – Google Earth 2020

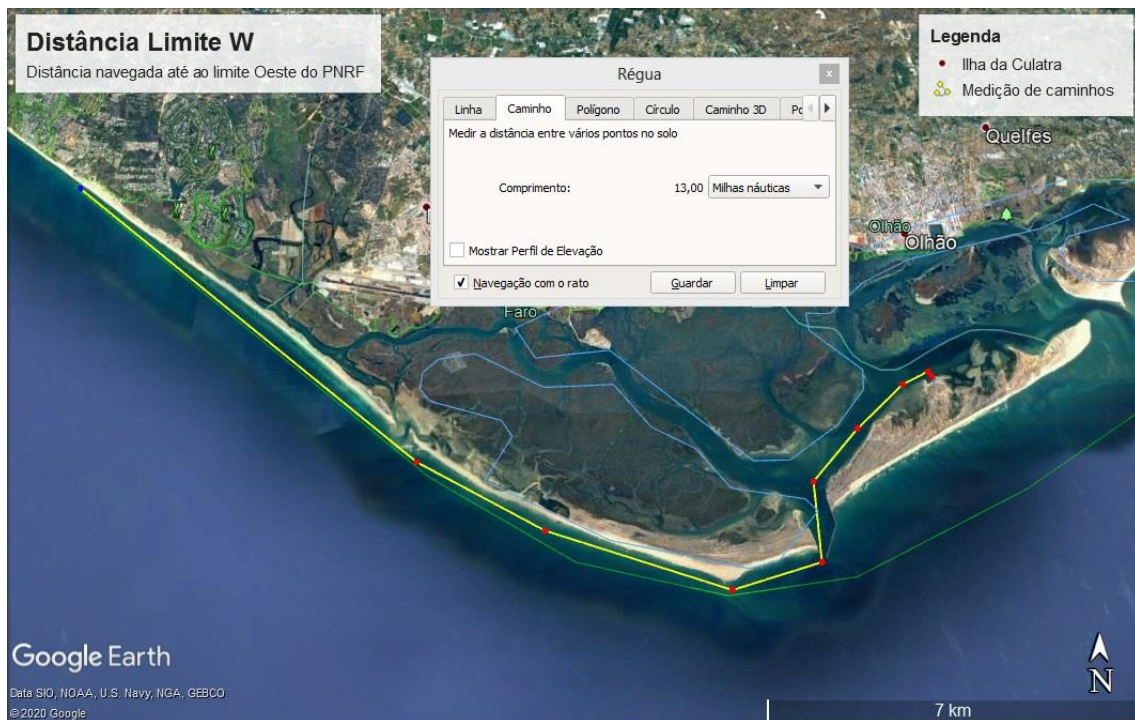


Figura 7. Medição da distância em milhas náuticas da Ilha da Culatra ao limite oeste do PNRF – Google Earth 2020

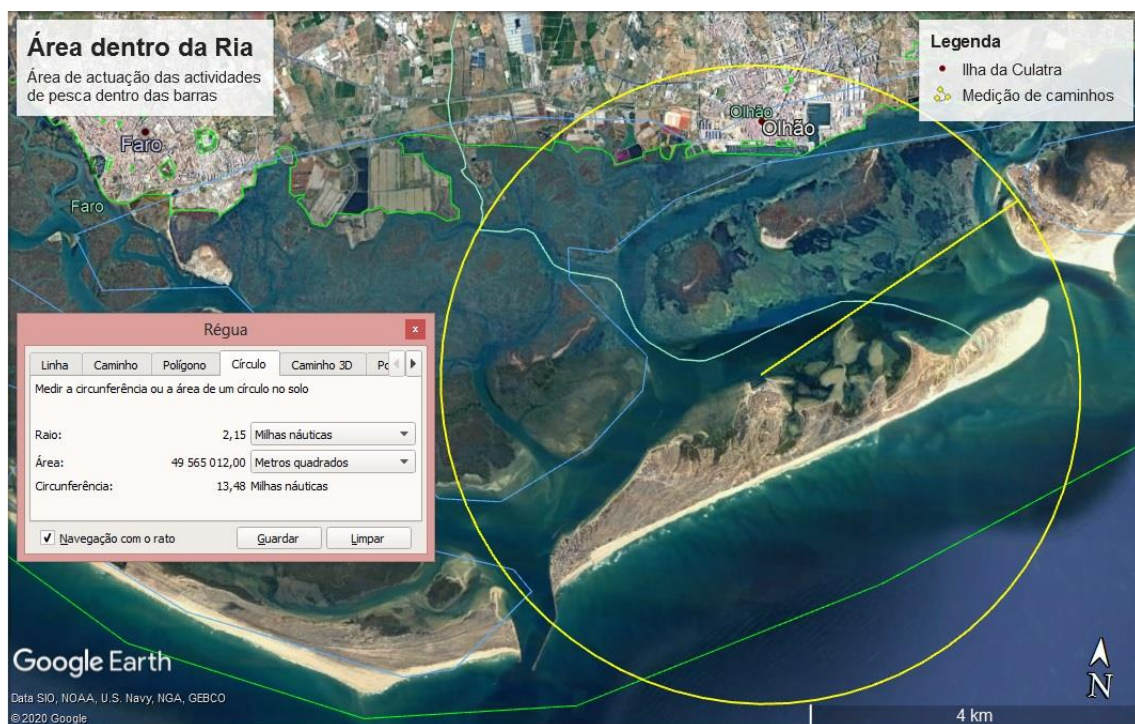


Figura 8. Área de atuação das atividades de pesca dentro das barras - Google Earth 2020

Tabela 3. Estimativa das milhas náuticas navegadas por saída das embarcações de Pesca local

Consumo		MN Navegadas		Média Ponderada (MN)
$\geq 30\text{€}$	$< 30\text{€}$	$\geq 30\text{€}$	$< 30\text{€}$	12,16
47	12	14,75	2	

Assim, juntando as distâncias percorridas por cada um dos três tipos de registos, AL, TL e Pesca Local, obtém-se uma média de milhas navegadas por saída de 9,32 MN, conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Estimativa da média de milhas náuticas navegadas por saída pelas embarcações da Culatra

Tipo de Registo	Quantidade	MN por saída
AL	19	1,50
TL	5	5,60
Pesca Local	59	12,16
Média		9,32

Na Figura 9 são apresentadas as embarcações típicas de apoio à moluscicultura, as quais serão alvo do primeiro passo da substituição da frota. Mais imagens em anexo.



Figura 9. Embarcações típicas de apoio à moluscicultura.

3.2. Caracterização das embarcações elétricas, OysterPro

A AMIC em conjunto com a UAlg ganhou um projeto do MAR2020 para a compra de embarcação elétrico-solar, painéis fotovoltaicos e posto de carregamento solar. Esta embarcação é do modelo previsto para a transição, o OysterPro, sendo agora aqui descrita.

Descrição geral da embarcação

O desenvolvimento e construção da embarcação elétrico-solar destinada a substituir gradualmente as embarcações de pesca e de apoio à atividade de moluscicultura de propulsão a combustão interna, está a cargo da empresa SunConcept, Lda. Esta é uma embarcação de alta qualidade em projeto e construção, integrada numa linha de produção da empresa e é destinada ao uso profissional. Este é o modelo que inicia a gradual substituição da totalidade das embarcações, sendo esta especialmente projetada para o apoio à moluscicultura, viveiros de ostra e apanha de ameijoas.

Esta embarcação caracteriza-se pelo seu monocasco com cerca de 9 metros de comprimento, propulsão elétrica, geração e armazenamento de energia a bordo utilizando, respetivamente, fontes solares e baterias de AGM. Recorrendo às técnicas mais avançadas de produção em série de peças em materiais compósitos, a sua construção em PRFV (Plástico Reforçado a Fibras de Vidro) utiliza materiais certificados, tais como resinas poliéster e espumas de núcleo PVC (policloreto de vinil).

Dimensões Principais

Quanto às dimensões principais, a embarcação possui de comprimento fora a fora 8,85 m, boca máxima 3,05 m, comprimento entre perpendiculares 7,45 m, comprimento na linha de água 7,37 m, pontal 0,8 m e calado (deslocamento máximo) 0,4 m. Ilustração da embarcação na Figura 10 e na secção de anexos.

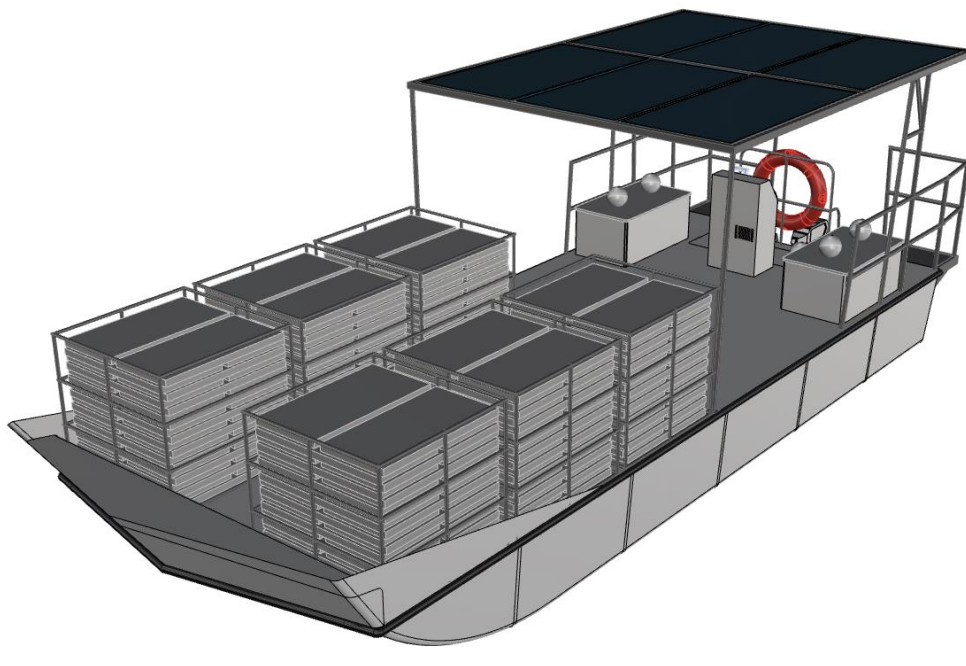


Figura 10. *OysterPro* - Embarcação elétrico-solar para apoio à atividade de moluscicultura – viveiros de ostra, com exemplo de carga a bordo. Vista proa-bombordo.

Capacidades

As capacidades desta embarcação caracterizam-se por um deslocamento de 6700 kg, porte bruto 4600 kg, área de convés 23 m² e lotação de 6 tripulantes.

Características Elétricas e Propulsivas

Com uma área disponível para painéis fotovoltaicos de 12,5 m², potência instalada de 2,2 kW, potência total dos inversores/carregadores de 5 kW e baterias do tipo AMG de 17,5 kWh, o OysterPro conta com a potência propulsiva de um motor de 10 kW e atinge uma velocidade máxima estimada de 6,5 nós.

Materiais

No que respeita a materiais, a embarcação é construída com resinas polyester isóftálicas de alta qualidade especialmente formuladas para infusão, e as fibras utilizadas são multi-axiais e de vidro.

Recorrendo à infusão, visto esta produzir peças de peso reduzido e com baixa mão-de-obra, e construção em *sandwich*, o casco é construído com espumas de PVC nos costados e na construção monolítica no fundo. Convés e estrutura interna são também de construção em *sandwich*. Na camada exterior do casco é utilizado *gel-coat* de polyester isoftálico (ISSO-NPG) e ainda uma camada protetora de vinylester. Compartimentado através de anteparas estanques, possuindo assim 6 compartimentos isolados.

O convés está ao nível da borda, facilitando a baldeação de carga. As escotilhas estão ao nível do convés, sendo munidas de canaletes auto esgotantes, para evitar o embarque de água. É ainda aplicada uma pintura antiderrapante sobre o pavimento.

A estabilidade intacta da embarcação está garantida para todas as condições de carga, cumprindo com a legislação em vigor.

A estabilidade em avaria, está garantida pela compartimentação. Adicionalmente são instalados meios de flutuação adicionais em dois dos compartimentos.

Propulsão elétrica e governo

A propulsão é assegurada por um motor elétrico fora de borda de 10 kW de corrente contínua, 48V DC e consumo máximo de 210 Amperes. O comando do propulsor é feito a partir da consola de comando e navegação. O sistema de governo é mecânico, por cabos, sendo este comandado pela caixa de direção no posto de comando.

Armazenamento de energia

Um grupo de baterias de 48 V, ligado ao controlador fornecido pelo fabricante do motor, alimenta os circuitos de potência.

As baterias são do tipo AGM com capacidade total de 17,5 kWh, de ciclo profundo, de constituição reforçada para utilização marítima e seladas evitando a libertação de gases ou derrames.

Instalação elétrica

A instalação elétrica está de acordo com as normas em vigor nomeadamente a ISO 1615:2016 “*Small craft — Electric propulsion system*” dirigida a embarcações de propulsão elétrica; ISO 10133:2000 “*Small craft — Electrical systems — Extra-low-voltage d.c. installations*” sistemas elétricos de baixa

tensão em embarcações. Toda a aparelhagem localizada fora das zonas abrigadas tem como mínimo IP67.

A distribuição em 48VDC para o sistema de propulsão sai diretamente do compartimento das baterias passando pelos respetivos fusíveis e corta correntes. O quadro elétrico de comando e monitorização 12VDC está instalado na consola de navegação.

A embarcação utiliza condutores e cabos isolados dispostos em condutas independentes de acordo com a sua tensão e tipo, sendo os condutores principais com características específicas de isolamento nomeadamente, livre de halogénio e condutores em cobre com banho a estanho anti corrosão, de acordo com as características do local da sua utilização.

Equipada com energia armazenada nas baterias suficiente para a navegação, carregada a partir de fonte energética AC monofásica no cais, a embarcação pode ainda durante o dia aumentar a sua capacidade de armazenada com energia proveniente dos painéis solares.

As informações disponibilizadas pelo painel de comando permitem obter informação da disponibilidade da capacidade do grupo de baterias em percentagem, do consumo instantâneo e produção de energia.

Os circuitos de controlo e comando são em corrente contínua 12 VDC alimentados por um conversor DC-DC do banco de baterias principal. Os circuitos de iluminação são também em corrente contínua DC a 12 volts. A iluminação do exterior é efetuada com interruptor e proteção fusível na consola. [25]

3.3. Mistura energética da rede elétrica nacional

A energia elétrica consumida atualmente em Portugal é proveniente de diversas fontes primárias de energia renováveis e não renováveis, nomeadamente o carvão, gás natural, fuel, gasóleo, água, vento, sol, biomassa e resíduos, sendo produzida com recurso a diferentes tecnologias. Ao que concerne a este estudo apenas foram consideradas as tecnologias/centrais de produção de energia elétrica que utilizam recursos não renováveis, pois, na mistura energética do consumo nacional apenas estas são relevantes no que toca à emissão de GEE para a atmosfera. Segundo dados da REN [26] as centrais de produção de energia elétrica que ainda utilizam recursos não renováveis em Portugal, são centrais térmicas que produzem energia recorrendo à queima de combustíveis fósseis como o carvão e o gás natural. Sendo estas a Central Termoelétrica de Sines (Carvão), Central Termoelétrica do Ribatejo (Gás Natural), Central Termoelétrica de Lares (Gás Natural), Central Termoelétrica do Pego (Carvão), Central de Ciclo Combinado do Pego (Gás Natural) e a Central de Ciclo Combinado da Tapada do Outeiro (Gás Natural). Este conjunto de centrais é descrito no subcapítulo abaixo.

3.3.1. Centrais Termoelétricas Portuguesas

Sines

A Central Termoelétrica de Sines, embora tenha a sua desativação programada para janeiro de 2021, foi ainda considerada neste estudo pois o mesmo assenta sobre dados dos passados anos 2019, 2018 e 2017. Com a desativação desta central a futura mistura energética será alterada e os valores de emissões de gases de estufa associados apresentados neste estudo serão também alterados. Prevê-se que reduzam com a adoção de alternativas de produção de energia elétrica menos poluentes, como a produção de

hidrogénio verde. A mistura energética atual já reflete o que poderá ser o cenário futuro visto que a central está parada desde 25 de janeiro de 2020 e a geração de energia elétrica a partir do carvão caiu cerca de 50% face a 2018. [27]

A Central Termoelétrica de Sines entrou em serviço no ano 1985 localizada em Sines (37°55'52" N, 8°48'12" W). Com uma potência instalada de 1256 MW conta com quatro grupos de produção elétrica tendo como combustível o carvão.

A geração de vapor é do tipo natural e atinge uma capacidade de vaporização de 950t/h e uma temperatura de 535°C, a pressão de vapor sobreaquecido é de 16,7 x 106 Pa. Na carga máxima apresenta um consumo de 106 t/h de carvão sendo os gases de combustão expelidos em chaminés de 225 metros de altura. Da energia libertada pela combustão do carvão apenas uma parte é transformada em energia elétrica no alternador, 38%, sendo que 1,8% deste valor é requerido para consumo interno o que é injetado na rede representa 36,2%, conforme Figura 11.

A turbina desta central é tipo de fluxo axial, atingindo uma velocidade de rotação de 3000 rpm. conta com quatro corpos, um de alta pressão, um de média e dois de baixa. O seu alternador de tensão de geração de 18kV tem refrigeração feita com hidrogénio no rotor e água no estator. O transformador de potência aparente de 340 MVA apresenta diferentes razões de transformação entre os quatro grupos. Grupo 1 tem uma razão de 150/18 kV e nos restantes, grupos 2, 3 e 4 esta razão é de 400/18 kV. [28]

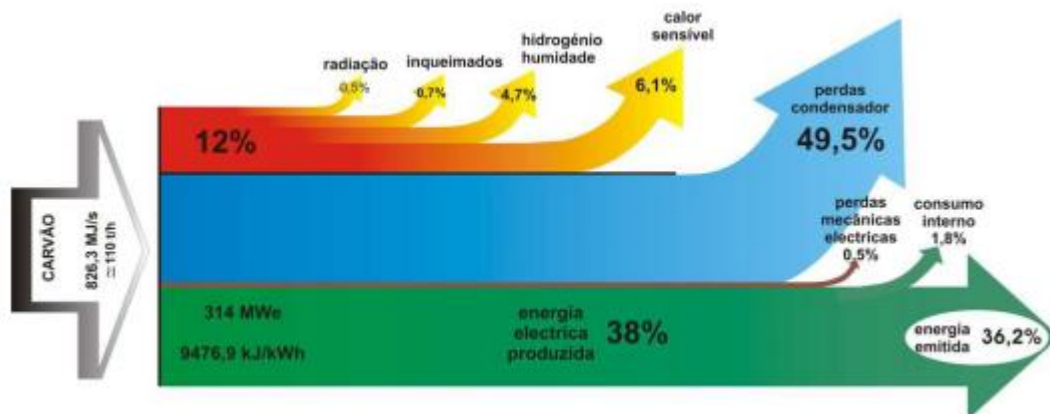


Figura 11. Diagrama da distribuição da energia ao longo do ciclo da central/Sankey, Adaptado de EDP Produção, 2015, “Apresentação Geral de Sines”

Ribatejo

A Central Termoelétrica do Ribatejo, localizada em Castanheira do Ribatejo (39°0'38" N, 8°57'6" W) começa a operar entre 2004 e 2005 com uma potência instalada de 1200 MW e potência de emissão de 1168,8 MW.

A entrada em serviço industrial desta central de Turbina de Gás de Ciclo Combinado dá-se mais concretamente em 2004 com o grupo 1 e grupo 2, e em 2005 o grupo 3 totalizando uma potência instalada de 1176 MW.

A turbina a gás desta central, com potência nominal de 265 MW e razão de compressão de 1/17, tem acoplada uma câmara de combustão do tipo anelar, a qual utiliza gás natural como combustível para os seus 24 queimadores híbridos de reduzida emissão de NOx.

A turbina a vapor de 135 MW divide-se em dois tipos nos diferentes corpos, no corpo de alta pressão é do tipo fluxo simples, e nos corpos de média e baixa pressão do tipo combinado de fluxos. A caldeira de recuperação é do tipo horizontal de circulação natural com três níveis de pressão 125 bar, 30 bar e 3,5 bar.

O alternador de excitação estática é do tipo bipolar, com tensão de geração de 22 kV atinge a velocidade de 3000 rpm. contando com refrigeração a hidrogénio.

Divididos em três grupos, os transformadores com potência aparente de 438 MVA, apresentam no grupo 1 a tensão secundária em vazio de 220 kV, e nos grupos 2 e 3 esta tensão é de 400 kV.

A torre de refrigeração com 60 m de altura e 70 m de diâmetro de base é do tipo de tiragem assistida, com 24 ventiladores e caudal de refrigeração de 5,3 m³ por grupo.

Esta central de Turbina de Gás de Ciclo Combinado apresenta uma eficiência entre os 57% e os 60% (neste estudo foi considerado o valor 58,5%) e emissões de CO₂ nos 360 g/kWh. Na Figura 12 é apresentado um esquema simplificado de um grupo da central. [29]

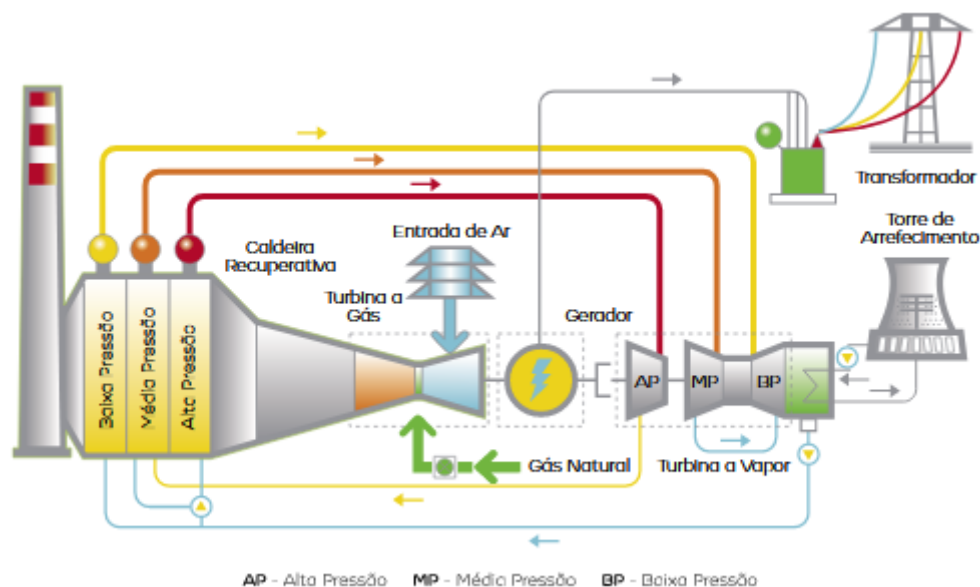


Figura 12. Esquema simplificado de um grupo da central do Ribatejo adaptado de "Declaração Ambiental 2016 Ribatejo" [29]

Lares

A Central Termoelétrica de Lares, situada no concelho da Figueira da Foz (40°7'29" N, 8°46'26 W), começou a operar em 2009 com potência instalada de 2 x 442,3 MW e um rendimento (100% carga) de 57,8%, tendo como combustível principal o gás natural. Arrancando o serviço comercial do grupo 1 em agosto de 2009 e o grupo 2 em setembro de 2009, com potência instalada de 442,3 MW e potência de Emissão de 431,3 MW, esta Central tem uma disponibilidade anual superior a 96%, consumo anual de combustível de 720 milhões de Nm³ e produção anual de 4000 GWh de eletricidade. Na Figura 13 é apresentado um esquema simplificado de um grupo da central. [30]

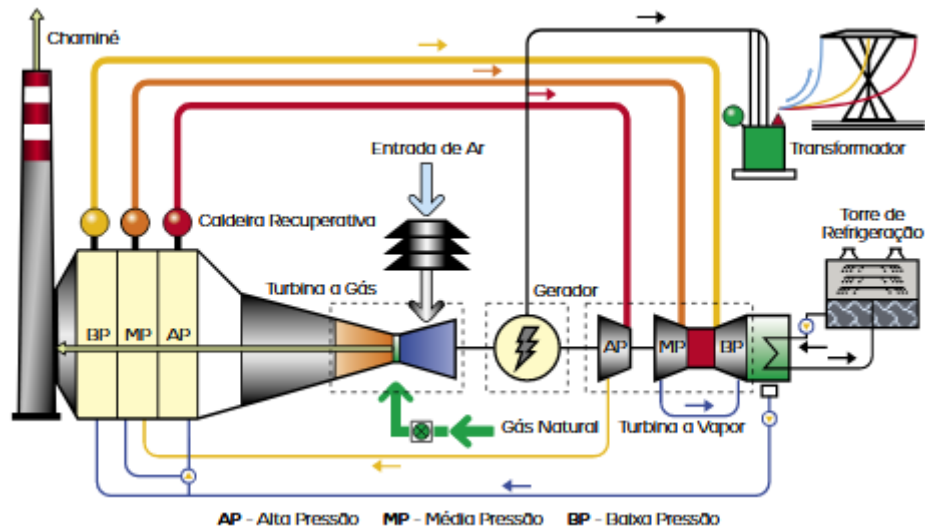


Figura 13. Esquema simplificado de um grupo da central de Lares, adaptado de "Declaração Ambiental 2016 Lares" [30]

Pego

A Central Termoelétrica do Pego, situada no Pego, freguesia do Pego e concelho de Abrantes faz a produção de eletricidade em dois grupos de geradores idênticos, com uma potência calorífica de combustão instalada de 1632 MW_{th} e uma potência elétrica instalada de 628 MW_e. Esta central, à semelhança da central de Sines tem o seu encerramento já previsto para breve, até 2022 deverá parar a sua produção. [31]

O grupo 1 da Central, que entrou em funcionamento em março de 1993, é constituído por uma caldeira de circulação natural de 950 t/h de vapor a 530°C/167 bar utilizando como combustível carvão, uma turbina de quatro corpos de expansão, um de alta pressão, um de média pressão e dois de baixa pressão, alternador de 362 MVA/18 kV, subestação anexa constituída por um transformador de potência 18/400 kV, de 340 MVA, dois transformadores de potência para os serviços auxiliares, 18/6 kV, de 31,5 MVA cada, rede de média tensão de 6 kV, postos de transformação equipados com 33 transformadores de distribuição, 6/0,4 kV, sendo 22 de 1600 kVA cada, dois de 630 kVA cada, 5 de 400 kVA cada e 4 de 160 kVA cada, dois grupos diesel de emergência, 0,4 kV, 650 kVA cada.

O grupo tem entrada em funcionamento a 2 outubro de 1995, constituído por uma caldeira de circulação natural de 950 t/h de vapor a 530°C/167 bar utilizando como combustível carvão, uma turbina de quatro corpos de expansão, um de alta pressão, um de média pressão e dois de baixa pressão, alternador de 362 MVA/18 kV. Ocorreu a ampliação da subestação, com inclusão de um novo transformador de potência de 340 MVA, 18/400 kV, oito transformadores de distribuição de 1,6 MVA, 6/0,4 kV cada, um transformador de distribuição de 31,5 MVA, 18/6 kV cada, um grupo diesel de emergência de 650 kVA e 0,4 kV.

Esta central apresenta um rendimento de 49%. [32]

Pego - Ciclo Combinado

A Central de Ciclo Combinado do Pego, situada no Pego, freguesia do Pego e concelho de Abrantes, dedicada à produção de eletricidade de origem térmica, tem capacidade elétrica instalada de 855 MWe constituída por dois grupos geradores idênticos com uma potência elétrica unitária de 427,5 MWe, e capacidade térmica instalada de 1455 MWt igualmente dividida pelos dois grupos geradores com 727,5 MWt potência térmica instalada em cada um.

Cada grupo gerador é constituído por uma turbina a gás (267 MWe), caldeira de recuperação, turbina a vapor, alternador comum (436 MVA e 21 KV), condensador de vapor, sistemas elétricos de baixa e alta tensão, sistemas de controlo computadorizados, sistema de refrigeração, grupo *diesel* de emergência (9 MWt). Esta instalação opera com um rendimento global de cerca de 55-60%, tendo sido adotado neste estudo o valor médio de 58% para efeitos de cálculo.

A central apresenta um consumo anual próprio de energia elétrica de 92×10^6 KWh, 791×10^6 Nm³ de Gás Natural como combustível principal utilizado na instalação a uma taxa de 18 Nm³/s em cada grupo gerador, e ainda 6 t de gasóleo a utilizar nos dois grupos *diesel* de emergência. É constituída ainda por um sistema de refrigeração a água contando com duas torres de refrigeração húmidas de tiragem induzida, do tipo multicelular, com aproximadamente 75 m de comprimento, 35 m de largura e 20 de altura. [33]

Tapada Do Outeiro - Ciclo Combinado

A Central de Ciclo Combinado da Tapada do Outeiro, Broalhós, Porto, a cargo da Turbogás do grupo Trustenergy, foi a primeira central do género em Portugal, tendo arrancado as operações comerciais do seu primeiro grupo a 30 de março de 1999, o segundo grupo a 27 de abril de 1999 e o terceiro grupo a 20 de agosto de 1999.

Com uma potência instalada de 990 MW resultante da soma dos seus três grupos de 330 MW cada, esta central utiliza como combustível o gás natural para acionar um gerador instalado entre uma turbina a gás e uma turbina a vapor em série, existindo entre o gerador e a turbina a vapor uma embraiagem sincronizada. [34]

Foram instalados recentemente queimadores de baixo teor em NO_x, de forma a reduzir as emissões de gás de efeito de estufa melhorando assim o seu desempenho ambiental.

Esta central apresenta um rendimento de 55,5%, contando para isso com os seguintes sistemas. Turbina a Gás – Siemens V94.3A, 220 MW Gás Natural e Fuel Óleo, compressor com 17 andares, turbina com 4 andares, combustão anular, 24 queimadores mistos, TIT 1160°C, Exaustão de gases 565°C. Gerador de Vapor com caldeira de recuperação, arranjo vertical de 65 metros, circulação natural com entrada dos gases a 565°C e saída a 90°C, e três níveis de pressão, alta pressão 550°C 113 bar 252,4 t/h, média pressão 319°C 30 bar 49 t/h, baixa pressão 233°C 4,5 bar 32,8 t/h. Alternador Siemens KWU de tensão nominal 21 kV e potência nominal de 410 MVA, produz uma frequência de 50 Hz, com arrefecimento a hidrogénio, excitação por conversor estático e barramentos pressurizados a ar comprimido seco. Turbina a vapor siemens KWU com potência elétrica de 110 MW, duas turbinas e três níveis de pressão, AP: 550°C e 113 bar, BP: 550°C e 30 bar e BP: 230°C e 4,5 bar. E um condensador de admissão de vapor axial, com vácuo a 48 mbar e arrefecimento em circuito aberto a água proveniente do Rio Douro. [35]

3.3.2. Combustível das Centrais Termoelétricas

Depois de conhecidas as centrais de produção de energia elétrica que ainda utilizam recursos não renováveis em Portugal recorrendo à queima de combustíveis fósseis, e as suas características, é importante também caracterizar os combustíveis que utilizam.

Carvão

Existem vários tipos de carvão, dependendo a sua qualidade de fatores pressão, temperatura e tempo de formação ou maturação orgânica. O processo de formação do carvão começa com a conversão da turfa em lenhite que são tipos de carvão com baixa maturidade. Com o efeito contínuo da pressão e temperatura ao longo de milhões de anos a lenhite aumenta progressivamente a sua maturidade orgânica transformando-o na faixa conhecida como carvão sub-betuminoso. Mais processos químicos e físicos ocorrem com o passar dos anos até que esses carvões se tornem mais duros e negros, formando os betuminosos. Nas condições adequadas o aumento progressivo da maturidade orgânica pode continuar formando finalmente a antracite. (WCI, 2005) [36]

O tipo de carvão utilizado nas centrais de Sines e Pego é o betuminoso. Este, juntamente com o carvão sub-betuminoso, representa a maioria do carvão produzido mundialmente. Apresentando um estado de decomposição e compactação avançado pode chegar a 87% de carbono na sua composição e atingir um poder calorífico entre os 24 MJ/kg e os 35 MJ/kg. O carvão betuminoso é utilizado principalmente em centrais termoelétricas, existindo uma pequena fração utilizada na indústria siderúrgica (IEA, 2016) [37]. Este carvão quando utilizado como combustível apresenta os fatores de emissão para CO₂, CH₄, e N₂O presentes na Tabela 5.

Tabela 5. Fatores de emissão de GEE em kg/TJ resultantes da combustão de carvão betuminoso - IPCC 2006 *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*

	Carvão Betuminoso - Fatores de emissão [kg/TJ]		
	Padrão	Inferior	Superior
CO ₂	94 600,00	89 500,00	99 700,00
CH ₄	300,00	100,00	900,00
N ₂ O	1,50	0,05	5,00

Gás Natural

O gás natural, assim como o petróleo, resulta da decomposição de matéria orgânica vegetal e animal que, aprisionada no subsolo, com a ação da pressão, temperatura e tempo forma estes dois combustíveis geralmente na mesma localização. Neste estudo o gás natural é apontado como a fonte de energia primária para os processos de combustão das centrais termoelétricas portuguesas, no entanto, este gás é utilizado em várias outras aplicações com a residencial (climatização, cocção de alimentos, águas quentes sanitárias), comércio (cocção de alimentos, águas quentes sanitárias, climatização de aquecimento e arrefecimento) e também em transportes sob a forma de diversos tipos de veículos.

Esta fonte de energia é constituída principalmente por gás metano, CH₄, mais de 70% da sua constituição. Com uma densidade inferior a 1 e um poder calorífico entre as 9000 kcal/m³ e as 12000 kcal/m³ a sua queima resulta essencialmente na emissão de dióxido de carbono e vapor de água. Este

gás apresenta assim uma massa volúmica média de 0,8019 kg/m³, P.C.I. médio de 11,9 kWh e um P.C.S. médio de 10,755 kWh (Galp Distribuição, 2020) [38].

Este gás quando utilizado como combustível apresenta os fatores de emissão para CO₂, CH₄, e N₂O presentes na Tabela 6. (IPCC, 2006) [39]

Tabela 6. Fatores de emissão em kg/TJ de GEE resultantes da combustão de Gás Natural - IPCC 2006 [39]

	Gás Natural - Fatores de emissão [kg/TJ]		
	Padrão	Inferior	Superior
CO ₂	56 100,00	54 300,00	58 300,00
CH ₄	1,00	0,30	3,00
N ₂ O	0,10	0,03	0,30

3.4. Abordagem “*Well to Propeller*” e Fatores de conversão CO_{2eq}

Para fazer uma correta avaliação das emissões de CO_{2eq} associadas às embarcações a combustão é preciso considerar as emissões de todo o processo pelo qual o combustível passa, neste caso Gasolina, desde que é explorado até ser queimado nas câmaras de combustão dos motores. Este tipo de análise dá pelo nome de Análise de Ciclo de Vida (ACV) ou *Life Cycle Assessment* (LCA).

Neste estudo a ACV é considerada em duas fases, “*Well to Tank*” e “*Tank to Propeller*”, as duas formando o processo completo *Well to Propeller*, obtendo-se assim todas as emissões de GEE e energia associadas à utilização da gasolina em motores de combustão interna desde a exploração da matéria prima na perfuração petrolífera até à sua final utilização nas embarcações. Aqui o termo *Propeller* (Hélice) é utilizado substituindo o termo *Wheels* (Rodas) que é comumente utilizado em ACVs de emissões de GEE em veículos rodoviários. A fase *Tank to Propeller* resume-se apenas ao processo em que o combustível armazenado no depósito da embarcação é queimado na câmara de combustão do motor, transferindo energia ao hélice e emitindo os gases de combustão para a atmosfera. A fase “*Well to Tank*” contempla o processo desde que é explorada a matéria-prima até o combustível chegar aos depósitos do consumidor final. O processo completo é esquematizado abaixo na Figura 14:

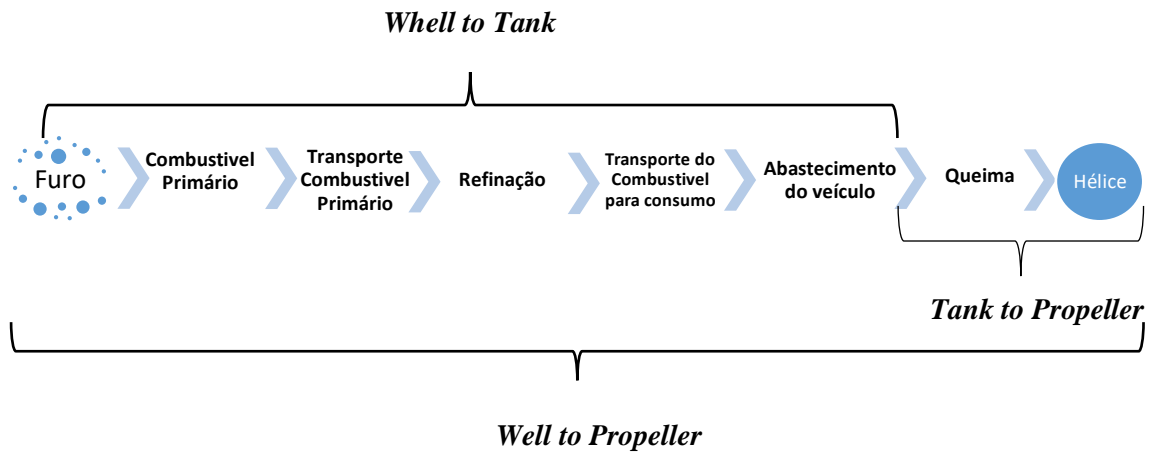


Figura 14. Processo do ciclo de vida do combustível desde a extração ao consumo – *Well to Propeller*

De todo o processo, a fase que mais gasta energético e emissões de GEE tem associadas é a refinação, logo seguida pela fase de exploração/produção como ilustrado nas figuras 15 e 16.

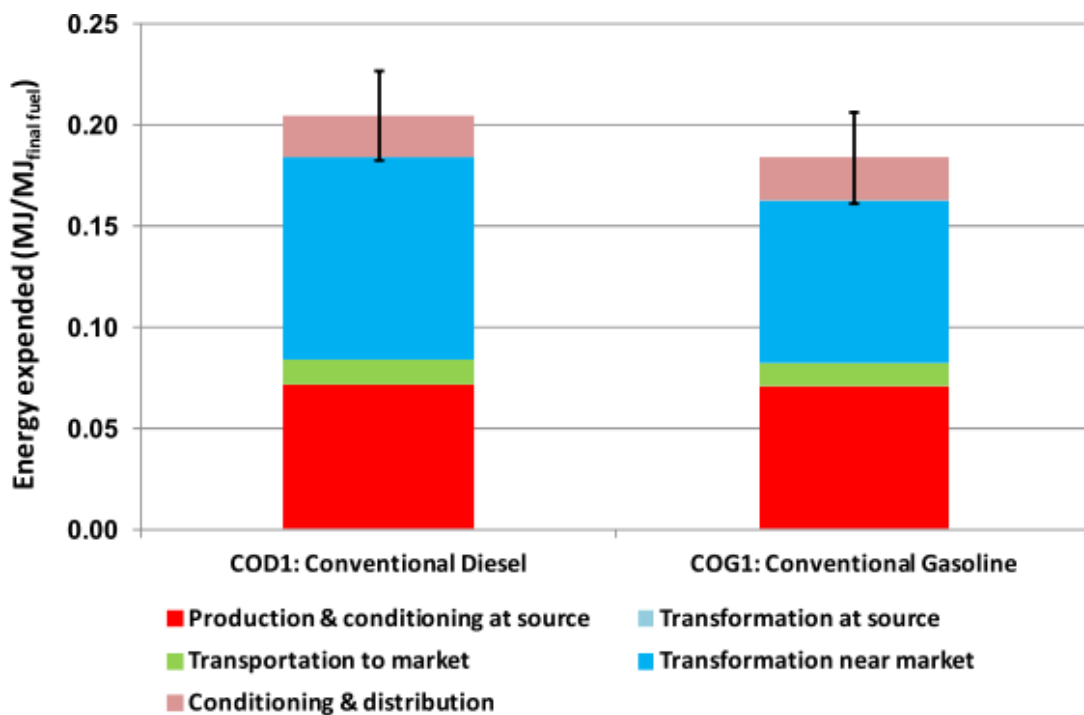


Figura 15. Balanço da energia total despendida Well to Tank para combustíveis com base no crude Fonte: *WELL-TO-TANK Report Version 4.a, 2014* <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec>

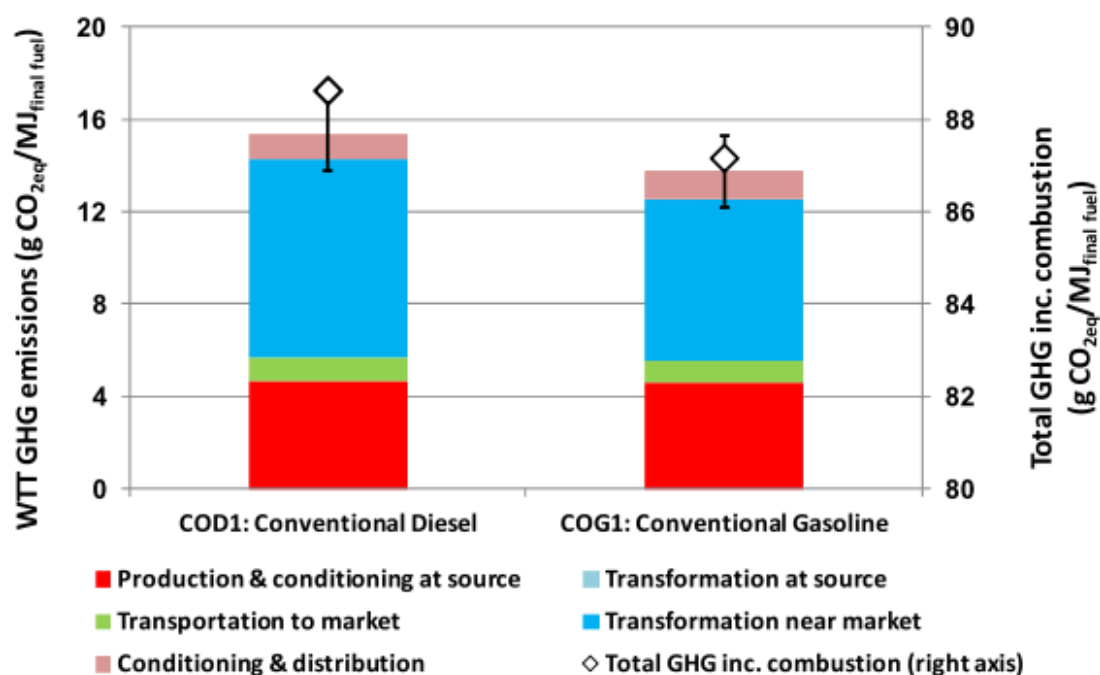


Figura 16. Balanço de emissões de GEE Well to Tank para combustíveis com base no crude. Fonte: WELL-TO-TANK Report Version 4.a, 2014 <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec>

Emissões de GEE e Energia *Well to Propeller*

Para determinar as emissões de GEE e a energia associadas à utilização das embarcações a combustão na Ilha da Culatra em todo o processo *Well to Propeller*, os cálculos foram repartidos pelas duas fases apresentadas anteriormente e posteriormente combinados. A ser apresentados no capítulo 5 – Resultados e Discussão.

Fatores emissão

Aos gases de efeito de estufa que não o CO_2 , de forma a obter o $\text{CO}_{2\text{eq}}$, foram aplicados os coeficientes de conversão a 100 anos recomendados pelo quarto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas apresentados na tabela 7.[40]

Tabela 7. Coeficientes de conversão de GEE para $\text{CO}_{2\text{eq}}$

Coeficientes de conversão GEE- $\text{CO}_{2\text{eq}}$	
CO_2	1
CH_4	25
N_2O	298

3.5. Cenários em estudo

No âmbito da transição energética das embarcações a combustão para elétrico-solar são analisados dois cenários distintos em número de embarcações e energia consumida. Em ambos é considerado que os painéis fotovoltaicos das embarcações não contribuem para o carregamento das baterias. De forma a estabelecer uma comparação e pôr em perspetiva os resultados de emissões de GEE obtidos com o fator de emissão calculado para a rede elétrica nacional, serão apresentados os resultados com outros fatores de emissão. Estes fatores, apresentados na Tabela 8, são retirados do relatório IPCC [41]; Schlömer et al., 2014 [42]) e da base de dados da Ecoinvent [43], e oferecem uma visão geral dos valores típicos dos fatores de CO_{2eq} para vários tipos de centrais de produção elétrica. Nestes são consideradas várias fases das centrais, como a extração dos combustíveis, a construção da central incluindo infraestrutura e transporte, bem como a sua operação, manutenção e encerramento. Estes fatores serão adaptados à mistura energética nacional, dados REN, e também utilizados individualmente para simular redes elétricas alimentadas exclusivamente por uma única fonte. Será ainda utilizado, para comparação, o fator anunciado pela EDP Comercial [44], 248,54 [gCO_{2eq}/kWh].

Tabela 8. Comparação de fatores de emissão de CO_{2eq} de diferentes referências por tecnologia de produção de eletricidade

Tecnologia de produção de eletricidade	IPCC [gCO_{2eq}/kWh_e]	Ecoinvent [gCO_{2eq}/kWh_e]
Carvão “duro”	1001,00	1266,00
Gás Natural	490,00	529,00
Fios de água	24,00	5,00
Albufeiras	24,00	8,00
Solar	45,00	144,00
Eólica	11,00	14,00

3.5.1. Cenário - Frota 100% Elétrica

Neste cenário considera-se que toda a frota de embarcações, ou seja, todas as AL, TL e Pesca Local, serão substituídas por embarcações elétricas. Assume-se ainda que a cada saída as baterias são completamente descarregadas utilizando a totalidade da energia disponível, sendo posteriormente carregadas utilizando apenas energia da rede.

3.5.2. Cenário - Auxiliar Local Elétrico

Neste cenário considera-se apenas a transição para as embarcações AL. Assume-se ainda os dados de consumo da embarcação elétrica fornecidos pelo fabricante que, para as distâncias navegadas, não utilizam a totalidade da carga das baterias. Além dos consumos reais, este cenário aproxima-se mais da realidade a curto / médio prazo pois é para estas embarcações que está prevista a primeira fase da transição. Neste cenário o carregamento das baterias é também feito com recurso à rede.

Capítulo 4 – Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para as emissões de CO_{2eq} e energia consumida referentes às duas tecnologias de propulsão aqui analisadas, combustão interna e elétrica. No subcapítulo “Combustão interna” calcula-se as emissões e energia do processo *Well-to-Propeller*, dividindo-o em duas fases distintas, a *Tank-to-Propeller*, onde é considerada apenas a utilização do combustível já na embarcação e a sua queima na câmara de combustão interna do motor. E *Well-to-Tank* onde se considera todo o processo realizado para que o combustível chegue à embarcação desde que é explorada a matéria prima do mesmo. Posteriormente combinam-se estas duas fases.

No subcapítulo “Elétrico”, considera-se a mistura de fontes de produção de eletricidade da rede nacional segundo dados da REN, e tendo em conta apenas a sua parcela de fontes de energia não renovável calcula-se o fator de emissão de GEE associada à rede.

Apresenta-se depois os cenários já descritos em 3.5 Cenários em estudo.

4.1. – Combustão interna

Tank to Propeller

Sabendo as propriedades energéticas e de emissões de CO_{2eq} da Gasolina, apresentadas na Tabela 9, e a quantidade utilizada, 303.306,96 litros anualmente, com simples operações de multiplicação obtêm-se os valores do consumo total anual de combustível e correspondente consumo energético e emissões de GEE, Tabela 10.

Tabela 9. Propriedades Energéticas e de Emissões de GEE do combustível Gasolina Fonte: Heywood, J. B. (2005). *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill Education.

Propriedades Combustível (Gasolina)		
Unidade	<i>Net Calorific Value/LHV</i> [MJ/L]	<i>Carbon Intensity</i> [gCO ₂ -eq/MJ LHV]
Quantidade	32,70	70,80
Incerteza	+/- 0,44	+/- 4,40
	1%	6%

Tabela 10. Consumo total anual de combustível e correspondente consumo energético e emissões de GEE

Consumo Total/ano - Tank To Propeller				
Unidade	[L]	[MJ/ano]	[gCO ₂ -eq/ano]	[tCO ₂ -eq/ano]
Quantidade	303 306,96	9.92 x 10 ⁶	7.02 x 10 ⁸	702,20
Incerteza	-	+/- 1.33 x 10 ⁵	+/- 4.36 x 10 ⁷	+/- 43,64
		1%	6%	6%

Well to Tank

Conhecendo a energia em MJ despendida na produção de um MJ de combustível ($\text{MJ}/\text{MJ}_{\text{fuel}}$) e as emissões de GEE por MJ_{fuel} associados a esta fase, Tabela 11, multiplicando estes valores pelos já obtidos pelo consumo final do combustível presentes na Tabela 9, obtêm-se os valores da Tabela 12 *Well to Tank*.

Tabela 11. Energia e Emissões de GEE associadas à produção de Gasolina- Fonte: IPCC - WELL-TO-TANK Appendix 4 – Version – Description and input data per pathway

Well to Tank (Gasolina)		
Unidade	Expended Energy [MJ/MJ _{fuel}]	GHG Emissions [gCO _{2eq} /MJ _{fuel}]
Quantidade	0,18	13,80

Tabela 12. Consumo energético e emissões GEE Well to Tank das embarcações da ilha

Well to Tank (Gasolina)			
Unidade	[MJ/ano]	[gCO _{2eq} /ano]	[tCO _{2eq} /ano]
Quantidade	$1,79 \times 10^6$	$1,37 \times 10^8$	136,87
Incerteza	$\pm 2,40 \times 10^4$	$\pm 8,50 \times 10^6$	$\pm 8,51$
	1%	6%	6%

Well to Propeller

Somam-se os resultados de energia despendida e emissões de GEE obtidos anteriormente e concretizam-se então os valores para todo o processo a que o combustível está sujeito, *Well to Propeller*. Valores apresentados na Tabela 13.

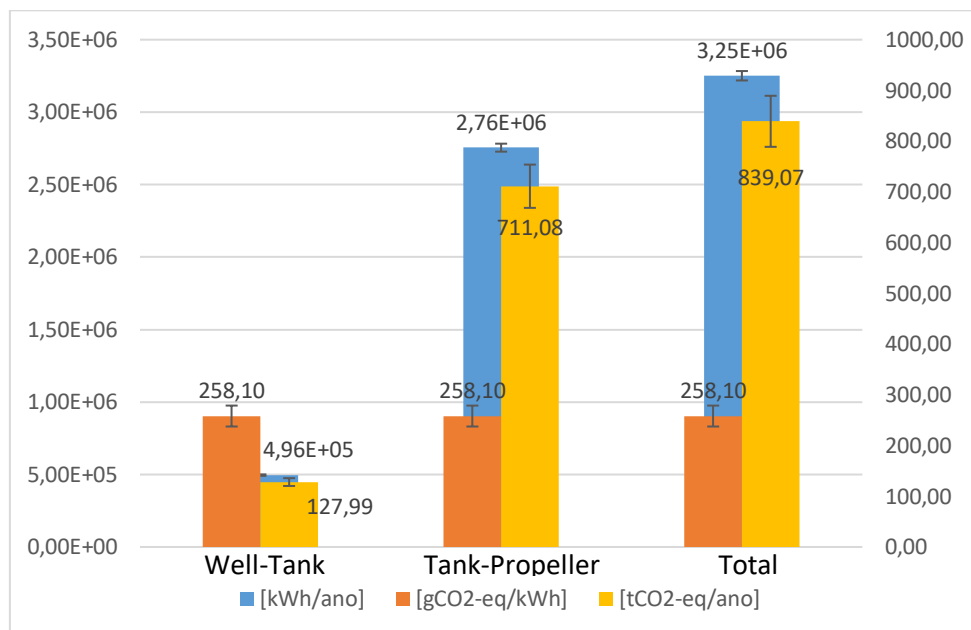
Tabela 13. Consumo energético anual e emissões de GEE associados às embarcações a combustão

Well To Propeller - Embarcações Atuais			
Unidade	[MJ/ano]	[gCO ₂ -eq/ano]	[tCO ₂ -eq/ano]
Quantidade	$1,17 \times 10^7$	$8,39 \times 10^8$	839,07
Incerteza	$\pm 1,57 \times 10^5$	$\pm 5,21 \times 10^7$	$\pm 52,15$
	1%	6%	6%

Sendo $1 \text{ MJ} = 2,48 \times 10^{-1} \text{ kWh}$, converte-se a energia despendida anualmente de MJ para kWh. Assim, estão reunidas as condições para determinar a quantidade de CO_{2eq} emitida por unidade de energia kWh sendo os resultados apresentados na Tabela 14. Observa-se um fator de emissão de 258,10 gCO_{2eq}/kWh ($\pm 19,51$) para o processo *Well-to-Propeller*.

Tabela 14. Energia total consumida anualmente e correspondente fator de emissão para as embarcações a combustão

Well To Propeller - Embarcações Atuais		
Unidade	[kWh/ano]	[gCO _{2eq} /kWh]
Quantidade	3,25 x 10 ⁶	258,10
Incerteza	+/- 4,37 x 10 ⁴	+/- 19,51
	1%	8%

Figura 17. Comparação entre fases do processo *Well-to-Propeller*.

Da análise da Figura 17 observa-se que de todo o processo *Well-to-Propeller*, a fase *Tank-to-Propeller* é responsável por cerca de 85% das emissões de CO_{2eq}, das 839,07 tCO_{2eq} emitidas anualmente pela frota de ECs.

4.2. – Elétrico

Neste estudo é apresentada uma embarcação elétrico-solar como alternativa às convencionais embarcações com motor de combustão interna. Para efeitos comparativos considera-se o não acesso das embarcações à energia solar, de modo que toda a energia nas baterias será proveniente da mistura energética disponibilizada pela rede elétrica nacional. Foram considerados os dados da REN nos anos 2017, 2018 e 2019 Tabela 15 (REN, 2020), que após combinados resultam numa média de 41,58% para a produção de energia elétrica proveniente de fontes não renováveis e 58,42% para fontes de energia renováveis Tabela 16. O mesmo que dizer que mais de metade da energia consumida no carregamento da embarcação no cais por meio de ficha, é renovável.

Logo, é de ter em conta que apenas uma parte da energia presente nas baterias das embarcações elétrico-solares tem emissões de GEE associadas. Sendo a capacidade destas 17,5 kWh, apenas 7,28 kWh são responsáveis por emissões de GEE.

Tabela 15. Produção e Consumo energético, em GWh, na rede energética nacional, por fonte nos anos 2017, 2018 e 2019 – Dados REN, disponível em: <https://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaMensal.aspx>

Produção e Consumo [GWh]	2019		2018		2017	
Fios de Água	4121	8%	6211	12%	2805	5%
Albufeiras	4863	9%	6056	12%	3921	8%
Total Hídrica Regime Ordinário	8984	17%	12267	23%	6726	13%
Sines	4025	8%	8067	15%	9426	18%
Ribatejo	2515	5%	2346	4%	2559	5%
Lares	3323	6%	1745	3%	3382	7%
Pego C.C.	2337	4%	2035	4%	3635	7%
Pego	1062	2%	3050	6%	4182	8%
Tapada do Outeiro C.C.	3445	7%	4007	8%	3902	8%
Total Térmica Regime Ordinário	16707	32%	21250	40%	27086	52%
TOTAL PRODUÇÃO LÍQUIDA	25691	49%	33517	64%	33812	65%
Hidráulica	1058	2%	1093	2%	614	1%
Térmica	7539	14%	7355	14%	7293	14%
Eólica	13423	26%	12351	24%	11973	23%
Fotovoltaica	1055	2%	829	2%	853	2%
Ondas	0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL PRODUÇÃO REGIME ESPECIAL	23075	44%	21628	41%	20733	40%
Saldo Importador	3399	7%	-2657	-5%	-2684	-5%
PRODUÇÃO TOTAL	52165		52488		51861	
Bombagem Hidroelétrica	1825		1582		2223	
Consumo	50340		50906		49638	

Tabela 16. Média trianual da produção e consumo energético, em GWh, na rede energética nacional

Média 2017/18/19		
Produção e Consumo	[GWh]	Participação no mix total
Fios de Água	4.38	8.38%
Albufeiras	4.95	9.47%
Total Hídrica Regime Ordinário	9.33	17.85%
Sines	7.17	13.75%
Ribatejo	2.47	4.74%
Lares	2.82	5.41%
Pego C.C.	2.67	5.12%
Pego	2.76	5.30%
Tapada do Outeiro C.C.	3.78	7.25%
Total Térmica Regime Ordinário	21.68	41.58%
TOTAL PRODUÇÃO LÍQUIDA	31.01	59.43%

Hidráulica	0.92	1.76%
Térmica	7.40	14.18%
Eólica	12.58	24.12%
Fotovoltaica	0.91	1.75%
Ondas	-	0.00%
TOTAL PRODUÇÃO REGIME ESPECIAL	21.81	41.81%
Saldo Importador	-0.65	-1.24%
PRODUÇÃO TOTAL	52.17	
Bombagem Hidroelétrica	1.88	
Consumo	50.29	

Conhecida a quantidade de energia não renovável transportada/distribuída e a sua origem é agora importante conhecer a real quantidade produzida nas centrais termoeletricas. Para tal considera-se a energia que cada central injeta na rede e aplica-se a sua eficiência. Antes, a energia em GWh é convertida para TJ, utilizando o fator de $1\text{GWh} = 3.6\text{ TJ}$, de modo a tornar esta compatível com os fatores de emissão de cada tipo de combustível utilizado nas centrais. Os valores da produção de energia elétrica são revelados na Tabela 17.

Tabela 17. Produção média de energia elétrica nos últimos três anos, 2017, 2018 e 2019, nas centrais termoeletricas nacionais, Fonte: REN

Central	[TJ] Injetado na rede	Eficiência	[TJ] Produzido
Sines (Carvão)	25,82	38%	67,95
Ribatejo (Gás Natural)	8,90	59%	15,22
Lares (Gás Natural)	10,40	58%	17,54
Pego C.C. (Gás Natural)	9,61	58%	16,71
Pego (Carvão)	9,95	49%	20,31
T. Outeiro C.C. (Gás Natural)	13,62	56%	24,55

Com o objetivo de determinar os $\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$ produzidos no conjunto das centrais é necessário calcular os $\text{gCO}_{2\text{eq}}$ de cada uma delas. Para tal são aplicados os fatores de emissão padrão, superior e inferior $[\text{kg}/\text{TJ}]$ à energia por cada uma produzida. Estes fatores são aplicados aos GEE mais relevantes, o $\text{CO}_{2\text{eq}}$, CH_4 e N_2O , devolvendo a massa emitida de cada gás. Os valores obtidos para cada gás têm ainda de ser sujeitos ao seu fator de conversão para $\text{CO}_{2\text{eq}}$, Tabela 6, somados entre si e aumentados um fator de 10^3 (kg para g). Para se obter o objetivo proposto resta fazer o somatório dos produtos dos $\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}/\text{Central}$ pela sua participação (%) na mistura da produção de energia elétrica nacional, conforme equação 1. Assim, a produção de energia elétrica nacional proveniente de fontes não renováveis tem associado um fator de emissão de **253,29 $\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$** , conforme resultados apresentados na Tabela 18:

$$\left[\frac{\text{gCO}_{2\text{eq}}}{\text{kWh}}\right]_{\text{Total}} = \sum \left(\left[\frac{\text{gCO}_{2\text{eq}}}{\text{kWh}}\right]_{\text{Central}} \times [\% \text{ no mix}]_{\text{Central}} \right) \text{ (Equação 1)}$$

Tabela 18. Massa de GEE emitida em cada central e fatores de emissão associados

	Valores Padrão					
Central	kgCO ₂	kgCH ₄	kgN ₂ O	gCO _{2eq}	% Mix	gCO _{2eq} /kWh
Sines	6,43E+06	2,04E+04	1,02E+02	6,97E+09	13,75	971,50
Ribatejo	8,54E+05	1,52E+01	1,52E+00	8,55E+08	4,74	345,57
Lares	9,84E+05	1,75E+01	1,75E+00	9,85E+08	5,41	349,75
Pego C.C.	9,37E+05	1,67E+01	1,67E+00	9,38E+08	5,12	351,58
Pego	1,92E+06	6,09E+03	3,05E+01	2,08E+09	5,30	753,41
T. Outeiro C.C.	1,38E+06	2,45E+01	2,45E+00	1,38E+09	7,25	364,25
Total	1,23E+06	3,13E+03	1,61E+01	1,31E+09	41,58	253,29
	Valor Inferior					233,08
	Valor Superior					292,36

4.3. – Cenários

4.3.1. Frota 100% Elétrico

Consumo energético e emissões de GEE das embarcações elétricas

Sabendo que existe um total 83 embarcações passíveis de transitarem da combustão para a eletricidade e cada uma delas faz, em média, 4 (3,82) saídas semanais em 52 semanas anuais, o que perfaz uma média de 199 saídas anuais. Considera-se que a cada saída esgotam totalmente as suas baterias e que antes de nova tem de se recarregadas. Sabe-se que, dos 17,50 kWh, só 7,28 kWh são responsáveis por emissões de GEE, com o fator de emissão associado à proveniência dessa energia, obtêm-se as emissões em gCO_{2eq} de cada carregamento e do total de carregamentos anual de toda a frota, e ainda a energia em kWh despendida Tabela 19.

Tabela 19. Consumo energético e emissões de GEE associados ao carregamento de baterias das embarcações elétricas com energia proveniente da rede energética nacional

Capacidade das Baterias [kWh]	17,5	
Consumo Total Anual da Frota [kWh/Ano]	2,88 x 10 ⁵	
Proveniência da Energia das Baterias	Fóssil	Renovável
Consumo por carregamento [kWh]	7,28	10,22
Consumo Anual da Frota [kWh/Ano]	1,20 x 10 ⁵	1,69 x 10 ⁵
Emissões por carregamento [gCO _{2eq}]	1 843	-
Emissões Totais Anuais [gCO _{2eq} /ano]	3,04 x 10 ⁴	-
Emissões Totais Anuais [tCO _{2eq} /ano]	30,38	-

Energia e Emissões por distância percorrida

Recordando as propriedades do combustível utilizado pelas embarcações a combustão, a Gasolina, converte-se a energia por litro, de 32,70 [MJ/L] para 9,08 [kWh/L] (1 MJ = 2,78 x 10⁻¹ kWh) e multiplicando este valor pelo número médio de litros consumidos diariamente, 18,62 L/saída, obtém-se 169,14 kWh de energia gasta por saída. Aplicando agora o fator de emissão *Well to Propeller*, 258,10 gCO_{2eq}/kWh à energia gasta por saída, resulta na emissão de 43.655,22 gCO_{2eq}/saída. Sendo que a média de milhas náuticas percorridas por dia, por embarcação, é de 9,32 MN/saída, verifica-se que as embarcações a combustão emitem 4.684,04 gCO_{2eq}/MN.

Para as embarcações elétricas, sendo as emissões 1.843 gCO_{2eq}/saída e considerando a mesma média de milhas náuticas percorridas por dia, resulta numa emissão de 197,75 gCO_{2eq}/MN.

Tabela 20. Quadro comparativo, em energia e emissões de GEE, das tecnologias de combustão e elétrico para 100% das embarcações da frota

	Combustão	Elétrico	Diferença	Razão Elétrico: Combustão
Energia anual kWh/ano	$3,25 \times 10^6$	$2,88 \times 10^5$	$2,96 \times 10^6$	1: 11,27
kWh/MN	18,14	0,44*	17,7	1: 41,22
[gCO ₂ -eq/kWh]	258,10	253,29	4,81	1: 1,02
[gCO ₂ -eq/ano]	$8,39 \times 10^8$	$3,04 \times 10^7$	$8,09 \times 10^8$	1: 27,62
[tCO ₂ -eq/ano]	839,07	30,38	808,69	1: 27,62
[gCO ₂ -eq/MN]	4.682,89	192,71	4.485,18	1: 23,69

*Dados Sun Concept

Considerando os fatores apresentados em 3.5 “Cenários em estudo”, Tabela 8, mais o fator de emissão de CO_{2eq} da EDP Comercial, e adaptando-os ao mix energético da Tabela 16, é possível estabelecer uma comparação, Figura 18, entre as emissões associadas aos processos de combustão e as diferentes variantes de rede elétrica conforme a referência adotada, constatando-se que mesmo na rede elétrica com fator de emissão mais desfavorável as EESs têm vantagem em relação às ECs, emitindo menos 711,83 tCO_{2eq} anualmente.

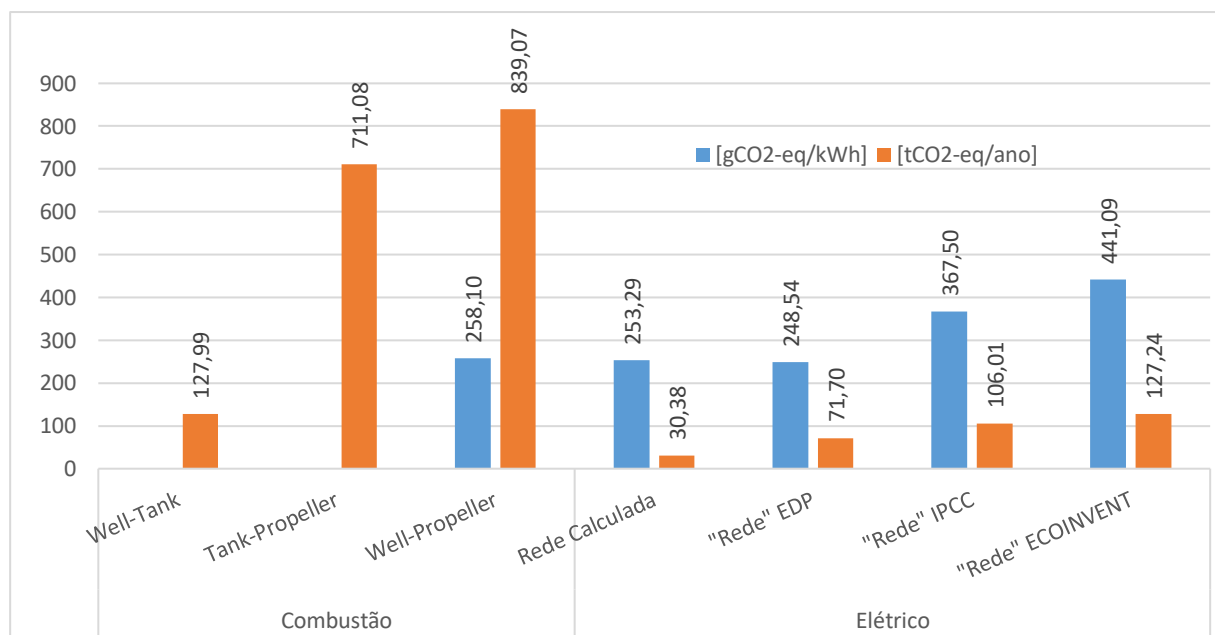


Figura 18. Comparação entre tecnologias de propulsão, combustão VS elétrico, para diferentes fases do combustível e diferentes cenários de rede elétrica, considerando 100% da frota.

Considerando ainda os fatores da Tabela 16 criou-se a Figura 19 onde, utilizando os fatores individuais, se obteve redes exclusivamente alimentadas por uma fonte energética, podendo esta ser de origem renovável (solar, hídrica ou eólica) ou não renovável (carvão ou gás natural). À semelhança da Figura 18 constata-se que mesmo o cenário mais desfavorável para a rede elétrica continua a dar vantagem à utilização de EESs. Mesmo com um fator de emissão (Ecoinvent) de 1266,00 gCO_{2eq}/kWh para uma rede elétrica alimentada exclusivamente por centrais termoeletricas a carvão as EESs emitiriam menos 473,87 tCO_{2eq} anualmente. Por outro lado, considerando redes exclusivamente solares, as EESs

emitiriam entre 12,98 a 41,54 tCO_{2eq} anualmente, menos 95,50% a 91,23% que a respetiva referência para o carvão. Esta diferença nas emissões entre ECs e EESs é explicada pelo respetivo consumo energético que, remetendo à Tabela 20, se verifica ter uma diferença de $2,96 \times 10^6$ kWh/ano.

Os valores 12,98 (IPCC) e 41,54 tCO_{2eq}/ano (Ecoinvent) podem constituir uma estimativa para as emissões associadas à utilização das EESs caso estas utilizem os postos de carregamento fotovoltaicos a instalar na Ilha da Culatra, ou os próprios painéis instalados a bordo.

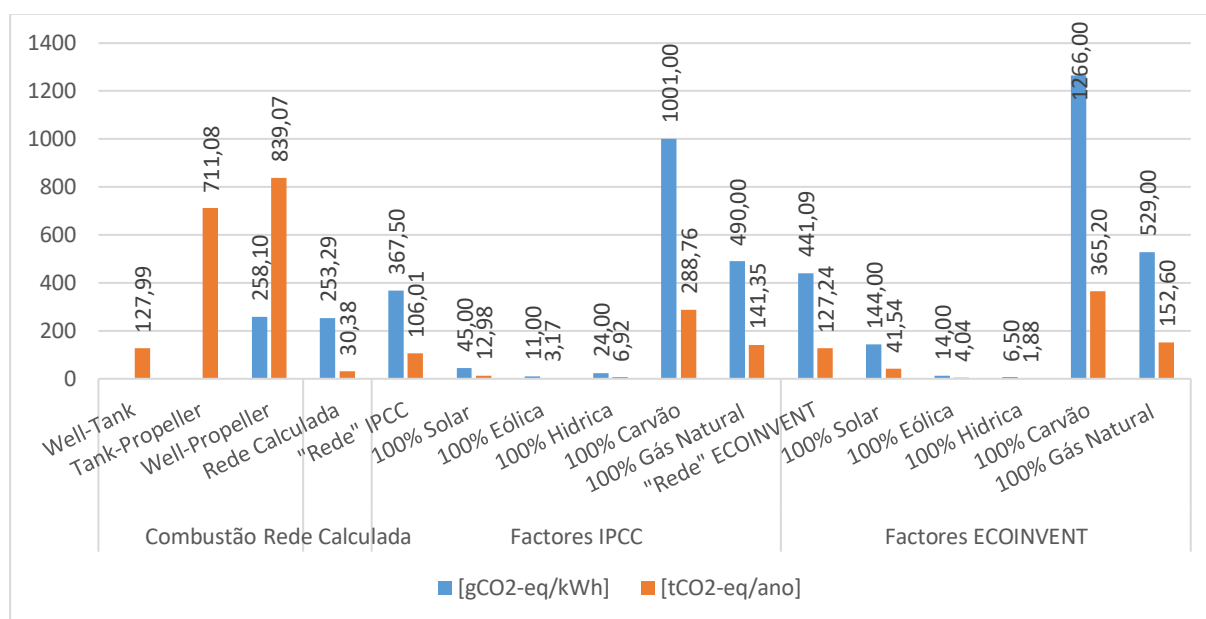


Figura 19. Comparação entre tecnologias de propulsão, combustão VS elétrico, para diferentes fases do combustível e diferentes cenários de rede elétrica, admitindo redes exclusivamente renováveis ou fósseis com uma só fonte energética. Considerando 100% da frota.

4.3.2. Auxiliar Local Elétrico

Neste cenário avalia-se apenas 28% da frota, correspondendo esta parcela às embarcações AL. No cenário anterior foram tomadas algumas suposições, nomeadamente que as baterias das embarcações elétricas se esgotam a cada saída, e que todas as embarcações navegam as mesmas milhas náuticas por saída. Estes dois pressupostos não se verificarão na utilização real das embarcações, principalmente as que prestam auxílio aos viveiros de ostra e apanha de marisco, de registo AL. Sendo estas são as que menos se afastam da Ilha, cerca de 1,5 MN/saída, e o foco inicial da transição energética da Ilha da Culatra no setor dos transportes, serão estas a dar o primeiro passo para a descarbonização completa da frota e como tal será apresentado novo quadro comparativo considerando apenas esta parcela da frota.

Nesta abordagem consideram-se novos pressupostos, nomeadamente dados de performance das embarcações solares fornecidos pelo fabricante, a Sun Concept. Este afirma que a embarcação OysterPro, com as baterias totalmente carregadas (17,5 kWh) é capaz de navegar cerca de 40 MN, ou seja, consumo 0,44 kWh/MN. O que para uma média de 1,5 MN/saída, as embarcações gastam na realidade 0,66 kWh/saída. Ainda considerar que apenas 41,58% da energia utilizada é de origem fóssil e contribui para as emissões de GEE. A Sun Concept estima uma velocidade média de 5 MN/hora (nós) (9,26 km/hora) para a OysterPro quando carregada. As embarcações atuais deslocam-se à média

velocidade de 7,53 MN/hora (aproximadamente 14 km/hora). Apesar desta diferença nas velocidades, acredita-se que este não será um fator marcante na comparação dos consumos de energia e emissões de GEE, pois para as distâncias navegadas a diferença no tempo de deslocação não será relevante. O novo conjunto de dados na Tabela 21.

Tabela 21. Dados das embarcações AL, consumo e utilização

Combustível Consumido anualmente (Combustão-Gasolina) [L]	30.046,43
Energia consumida por saída (Elétrico) [kWh]	0,66
Energia consumida por milha náutica navegada [kWh/MN]	0,44
Milhas Náuticas por saída [MN]	1,5
Número de embarcações	19
Saídas anuais [dias]	213

Considerando assim este conjunto de dados, e à semelhança do cenário anterior, obtém-se um quadro comparativo combustão VS elétrico, Tabela 22, desta vez apenas para as embarcações AL.

Tabela 22. Quadro comparativo, em energia e emissões de GEE, das tecnologias de combustão e elétrico para a parcela da frota correspondente às embarcações AL (28% da frota total)

AL - Combustão VS Elétrico				
	Combustão	Elétrico	Diferença	Razão Elétrico: Combustão
[kWh/ano]	3,22E+05	2,66E+03	3,19E+05	1 : 121
[gCO ₂ -eq/kWh]	258,10	253,29	4,81	1 : 1,02
[gCO ₂ -eq/ano]	8,31E+07	2,80E+05	8,28E+07	1 : 296,50
[tCO ₂ -eq/ano]	83,12	0,28	82,84	1 : 296,50
[gCO ₂ -eq/MN]	11.028,73	46,08	10.982,65	1 : 239,35

Em relação ao quadro comparativo apresentado na Tabela 20, este novo quadro, Tabela 22, apresenta diferenças significativas em termos de consumo energético e emissões de CO_{2eq}. Isto deve-se às suposições tomadas entre o descarregamento total da energia das baterias e o que se estima gastar na realidade, o mesmo se verifica na Figura 20 e Figura 21. À semelhança do cenário anterior verifica-se a vantagem das EESs em relação às ECs mesmo no pior cenário possível para a rede elétrica. Mais uma vez devido à diferença do consumo energético entre tipologia de embarcações, registando-se neste cenário uma diferença de $3,19 \times 10^5$ kWh/ano.

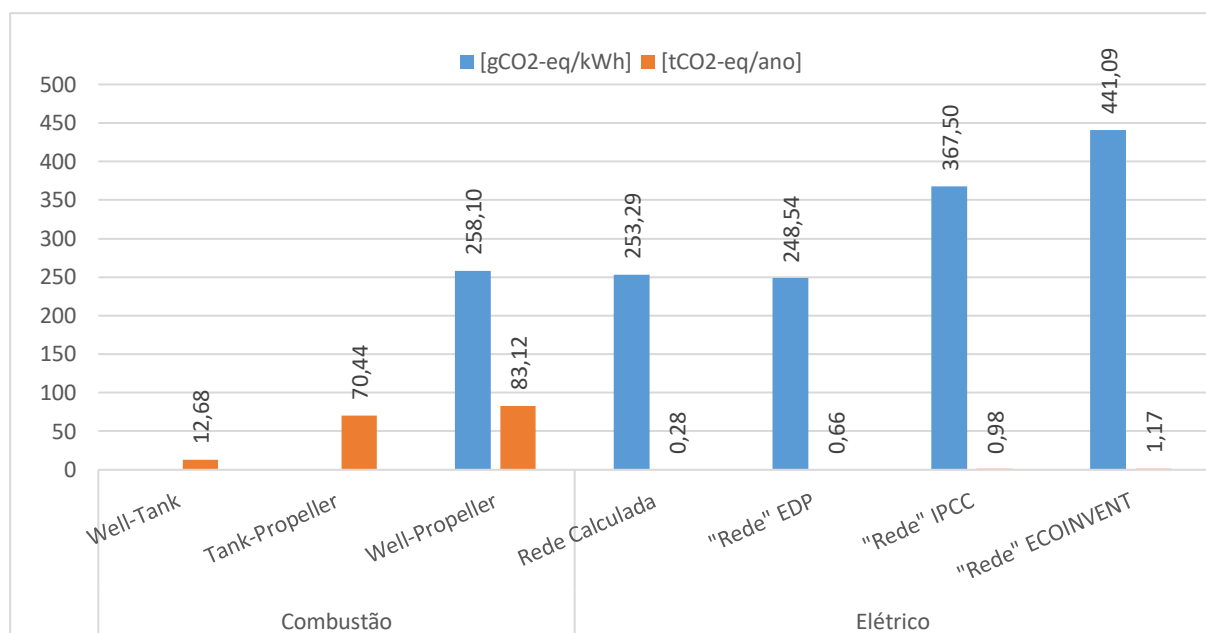


Figura 20. Comparação entre tecnologias de propulsão, combustão VS elétrico, para diferentes fases do combustível e diferentes cenários de rede elétrica, considerando apenas AL (28% da frota) e consumos reais aproximados.

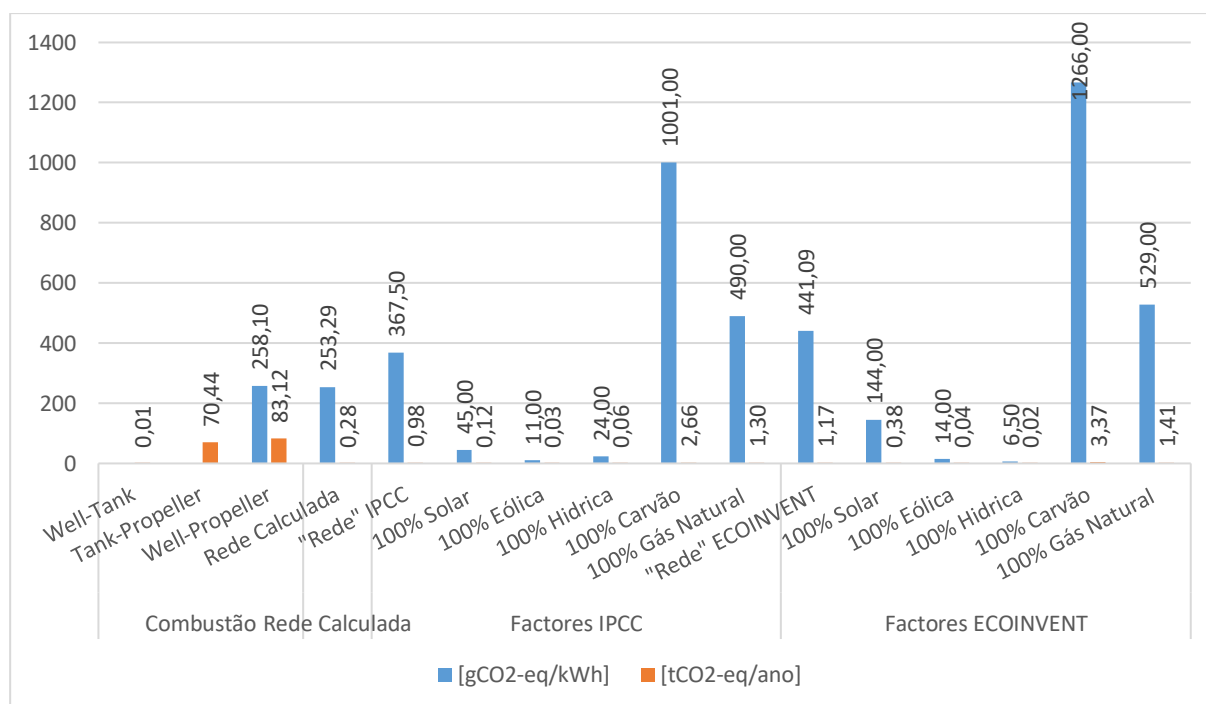


Figura 21. Comparação entre tecnologias de propulsão, combustão VS elétrico, para diferentes fases do combustível e diferentes cenários de rede elétrica, admitindo redes exclusivamente renováveis ou fósseis com uma só fonte energética. Considerando apenas AL (28% da frota) e consumos reais aproximados.

Registou-se ainda, na Figura 22, o fator de emissão de gCO_{2eq} por milha náutica navegada para as diferentes tecnologias de propulsão e diferentes tipos rede elétrica, para as parcelas de frota aqui estudadas. Constata-se a vantagem das EESs face às ECs, e melhor desempenho gCO_{2eq}/MN das embarcações AL (28%) em relação à totalidade da frota.

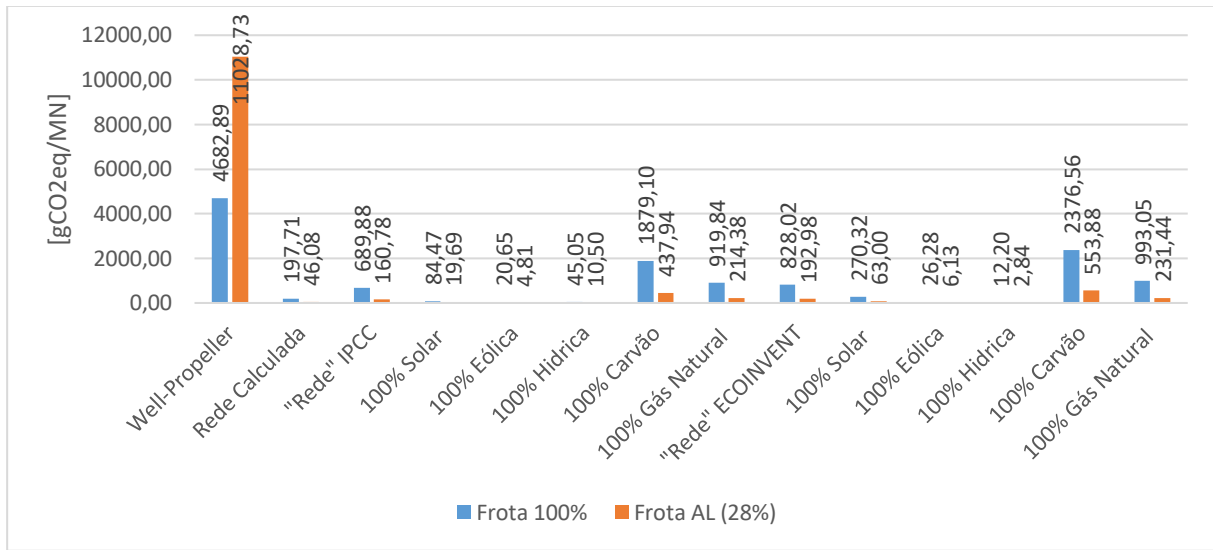


Figura 22. Comparação de emissões de CO_{2eq} entre tecnologias de propulsão por milha náutica navegada, e entre a frota completa e a parcela AL.

Tabela 23. Comparação das emissões de gCO_{2eq} anuais para as diferentes parcelas da frota, tipos de propulsão e redes elétricas de diferentes fatores de emissão.

		[tCO2-eq/ano]	
		100% Frota	28% Frota
Combustão	Well-Propeller	839.07	83.12
Elétrico	Rede Calculada	30.38	0.28
	"Rede" EDP	71.70	0.66
	"Rede" IPCC	106.01	0.98
	"Rede" ECOINVENT	127.24	1.17

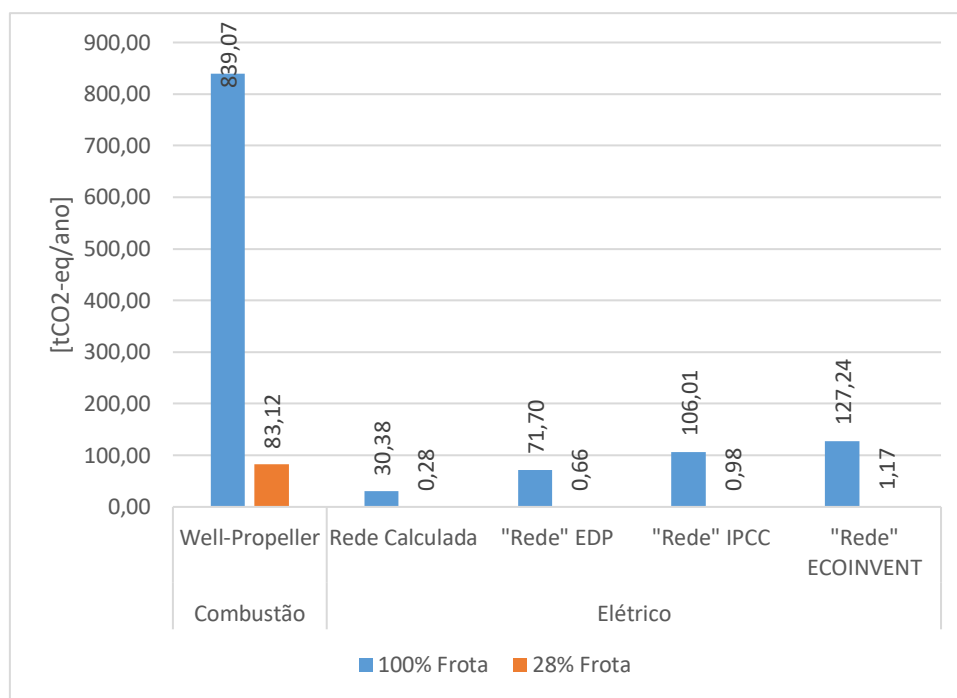


Figura 23. Comparação das emissões de gCO_{2eq} anuais para as diferentes parcelas da frota, tipos de propulsão e redes elétricas de diferentes fatores de emissão.

A Tabela 23 e a Figura 23 mostram a comparação entre as emissões correspondentes a cada tecnologia de propulsão e a cada parcela da frota analisada. Com a substituição das embarcações AL, portanto 28% da frota, evita-se a emissão de 82,84 tCO_{2eq} para a atmosfera, considerando a rede elétrica calculada nesta dissertação. Substituindo a frota por completo evitam-se 808,69 tCO_{2eq} em emissões anuais, sendo este o máximo impacto que as embarcações alternativas podem reduzir.

Capítulo 5 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

De uma consciência ecológica crescente nascem cada vez mais iniciativas de transição e sustentabilidade energética e não só, como é excelente exemplo o projeto Culatra 2030. Este estudo teve o privilégio de se enquadrar e contribuir para este projeto propondo-se estudar alguns impactos da transição da frota das embarcações de pesca e apoio às atividades de moluscicultura da Ilha da Culatra - Faro, atualmente com motores de combustão interna a gasolina substituindo-os gradualmente por embarcações elétrico-solares. De forma a avaliar estes impactos o presente estudo assumiu como objetivos estimar a hipotética redução de emissões de gases de efeito de estufa na métrica do CO_{2eq}, e também a influência do ruído subaquático, ambos associados à utilização das diferentes tecnologias de propulsão referidas (combustão VS elétrico).

A primeira limitação surgiu com a pandemia de 2020 que impossibilitou as medições de ruído inicialmente previstas, para tal seriam instalados hidrofones, assim esta análise ficou limitada à revisão bibliográfica. Desta, conclui-se que as atuais embarcações reúnem características que podem causar particular impacto negativo em espécies presentes no Parque Natural da Ria Formosa (PNRV), de que faz parte a Culatra, nomeadamente na ostra (*Crassostrea Angulata*) e no cavalo marinho (*Hippocampus Hippocampus* e *Hippocampus guttulatus*), e que embarcações de propulsão elétrica causariam menos ruído [19]. Num estudo realizado em 2016 é mostrado que o ruído antropogénico tem influência direta nas populações selvagens de *H. guttulatus*, causado por embarcações transientes e ancoradas diretamente por cima dos animais, causando *stress* e fuga [1]. Estas espécies de cavalo marinho vivem em águas pouco profundas [15] onde o ruído antropogénico é mais comum e intenso [16], e dada a baixa fecundidade, cuidado parental, sedentarismo, distribuição limitada, e fidelidade ao local onde se instala, o cavalo marinho é considerado altamente vulnerável ao impacto antropogénico. Sendo que o cavalo marinho contribui para a biodiversidade marinha e funcionamento do ecossistema [17], e que as populações de *Hippocampus Hippocampus* e *Hippocampus guttulatus* registaram, num intervalo de menos de 10 anos uma redução da população dentro da Ria Formosa de 73% e 94% respetivamente [18], é, portanto, muito importante considerar que a transição das embarcações a combustão para elétricas favorecerá a prosperidade do cavalo marinho.

A ostra, também sensível ao ruído, apresenta um sentido de “audição” nas frequências entre 10 e 1000 Hz, apresentando maior resposta no intervalo 10-200 Hz [2] estando o ruído produzido por pequenas embarcações com motores fora de borda no espectro de 0.1 a 5kHz [3]. A sensibilidade da ostra ao ruído pode desempenhar um papel importante na sincronização da desova e sua eficiência, participando indiretamente no controlo da dinâmica da população e esta quando exposta a ruído apresenta sinais de *stress* [2]. Dado que a aquacultura na Ria Formosa representa cerca de 41% da produção portuguesa sendo composta por moluscicultura, atividade preponderante, e piscicultura [9], e que a frota de embarcações estudada utiliza o mesmo tipo de motorização comumente utilizada por pequenas embarcações de recreio é, portanto, de esperar que o menor ruído associado às embarcações elétricas promova o melhor desenvolvimento da ostra.

De forma a estimar as emissões de CO_{2eq} associadas a ambas as tecnologias de propulsão, foram entrevistados os proprietários das atuais embarcações para identificar o volume de combustível (gasolina) utilizado. Posteriormente foi utilizada uma metodologia de análise de ciclo de vida desse combustível, obtendo-se assim as emissões de CO_{2eq} de todo o processo desde que a matéria prima do mesmo é extraída até ser queimado, aqui designada por *Well-to-Propeller*. Para as embarcações elétrico-solares, embora equipadas com módulos FVs que permitem o carregamento das suas baterias, nos dois cenários abordados considerou-se que estas não usufruem desta característica e todo o carregamento

elétrico é efetuado com recurso à rede energética nacional. Sabendo que esta é constituída por diversas fontes de energia procurou-se conhecer o impacto em emissões de CO_{2eq} por energia produzida naquelas não renováveis, nomeadamente as centrais termoelétricas a carvão e gás natural. Este é o impacto atribuído à utilização das embarcações elétrico-solares por via do carregamento.

Comparando as duas tecnologias de propulsão, verifica-se que estas pouco diferem em termos de gCO_{2eq} emitido por kWh consumido, 258,10 [gCO_{2eq}/kWh] (ECs) para 253,29 [gCO_{2eq}/kWh] (EESs). No entanto, as ECs podem ter um consumo energético, em kWh, de 11 a 121 vezes maior que as EESs dependendo da parcela da frota analisada e seu perfil de consumo. O que se reflete em emissões anuais de CO_{2eq} de cerca de 27 a 297 vezes maior da parte das ECs em relação às EESs. Conclui-se que o impacto das embarcações alternativas será no máximo inferior em 808,69 tCO_{2eq}/ano caso de toda a frota ser substituída. Ao fazer a substituição das embarcações AL, a qual se ambiciona para a primeira fase da transição energética, reduzem-se as emissões de CO_{2eq} em 82,84 t anuais.

Estes resultados foram obtidos sempre excluindo o carregamento das baterias das EESs com recurso aos módulos FVs instalados a bordo. Mesmo assim é de notar a grande vantagem ambiental das EESs sobre as ECs. Contudo, os fatores de emissão IPCC e Ecoinvent para as instalações/centrais solares mostram que para esta frota, a 100% ou 28%, podem emitir entre 12,98 a 41,54 tCO_{2eq}/ano e 0,12 a 0,38 t CO_{2eq}/ano, respetivamente, o que mostra a viabilidade da instalação de carregador para as EESs alimentado a módulos fotovoltaicos. Embora a embarcação apresentada para a substituição das ECs numa primeira fase, a OysterPro, seja especialmente concebida para a atividade da moluscicultura e diferente daquelas que exercem atividade na pesca, nas quais possam existir constrangimentos na utilização de módulos fotovoltaicos por questões de área útil, é mostrado aqui que mesmo sem FV é possível projetar e utilizar uma embarcação elétrica com benefícios ambientais (em termos de ruído e emissões de CO_{2eq}), pese embora deva ser feita uma avaliação ao impacto dos materiais embutidos nas embarcações convencionais e alternativas. No âmbito dos ODS estes resultados demonstram que a substituição de apenas 28% da frota já permite contribuir para os ODS 7 - Energias Renováveis e Acessíveis; 11 - Cidades e comunidades sustentáveis; 13 - Ação climática; 14 - Proteger a vida marinha.

Para tornar o trabalho aqui realizado mais completo, em trabalhos futuros, deveria ser feita uma análise e comparação dos materiais das diferentes embarcações e respetivo ciclo de vida. Portanto, uma análise de ciclo de vida e impacto dos componentes, como casco, motor, baterias, painéis fotovoltaicos e demais sistemas de ambos os tipos de embarcações. No âmbito do ruído subaquático seria importante realizar medições a ambas as tecnologias de propulsão.

Esta dissertação mostra que o projeto Culatra 2030, na medida da transição energética no setor dos transportes, se desenvolve no sentido dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, e no bom caminho para atingir as metas do PNEC, do RNC2050 e da Iniciativa Energia Limpa para as Ilhas da UE.

Referências Bibliográficas

- [1] Magalhães M., (2016) The effect of anthropogenic noise as a source of acoustic stress in wild populations of *Hippocampus guttulatus* in the Ria Formosa. Master Thesis of Marine Biology. <http://hdl.handle.net/10400.1/9846>
- [2] Charifi M, Sow M, Ciret P, Benomar S, Massabuau J-C (2017) The sense of hearing in the Pacific oyster, *Magallana gigas*. PLoS ONE 12(10): e0185353. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185353>
- [3] Hildebrand, J.A., 2009. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser. 395, 5–20. <https://doi.org/10.3354/meps08353>.
- [4] Ref. European Commission Covenant of Mayors, Technical annex to the SEAP template instruction document: The emission factors. 2010 https://www.eumayors.eu/IMG/pdf/technical_annex_en.pdf
- [5] Clean Energy Transition Agenda Version November 2019 Culatra Island, Portugal
- [6] Rodrigues L., et al (2013) Electric Fleet: An examination of the environmental benefits and economic feasibility of Villanova University Department of Public Safety fleet electrification.
- [7] Gamas M. (2015) Mobilidade Elétrica Sustentável: Casos de Estudo. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica pelo Instituto Superior Técnico, Lisboa
- [8] Garcia R. (2016) Dynamic fleet-based life-cycle assessment addressing environmental consequences of the introduction of electric vehicles in Portugal. Dissertação de Doutoramento pela Universidade de Coimbra.
- [9] Informações obtidas diretamente na AMIC – Associação de Moradores da Ilha da Culatra
- [10] Lillis A, Eggleston DB, Bohnenstiehl DR (2013) Oyster Larvae Settle in Response to Habitat-Associated Underwater Sounds. PLoS ONE 8(10): e79337. doi: 10.1371/journal.pone.0079337
- [11] Schwartzmann C, Durrieu G, Sow M, Ciret P, Lazareth CE, Massabuau JC. In situ giant clam growth rate behavior in relation to temperature: A one-year coupled study of high-frequency noninvasive valvo-metry and sclerochronology. Limnol Oceanogr. 2011; 56: 1940–1951.
- [12] Tran D, Nadau A, Durrieu G, Ciret P, Parisot JP, Massabuau JC. Field chronobiology of a molluscan bivalve: How the moon and sun cycles interact to drive oyster activity rhythms. Chronobiol Int. 2011; 28: 307–17. <https://doi.org/10.3109/07420528.2011.565897> PMID: 21539422
- [13] Tran D, Sow M, Camus L, Ciret P, Berge J, Massabuau JC. In the darkness of the polar night, scallops keep on a steady rhythm. Sci Rep. 2016; 6: 32435. <https://doi.org/10.1038/srep32435> PMID: 27577847
- [14] Charifi M, Miserazzi A, Sow M, Perrigault M, Gonzalez P, Ciret P, et al. (2018) Noise pollution limits metal bioaccumulation and growth rate in a filter feeder, the Pacific oyster *Magallana gigas*. PLoS ONE 13(4): e0194174. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194174>
- [15] Lourie, S. A., Foster, S. J., Cooper, E. W. & Vincent, A. C. J. (2004). A guide to the identification of seahorses. Project Seahorse and TRAFFIC North America. Washington, DC: University of British Columbia and World Wildlife Fund. p. 120.

- [16] Bell, E. M., Lockyear, J. F., McPherson, J. M., Marsden, A. D. & Vincent, A. C. J. (2003). First field studies of an endangered South African seahorse *Hippocampus capensis*. *Environmental Biology of Fishes* 67, 35-46
- [17] Foster S. J. & Vincent, A. C. J. (2004). Life history and ecology of seahorses: implications for conservation and management, *Journal of Fish Biology* 65: 1-61. / (Jesus, 2011) Jesus, F. F. (2011). A new home for the long-snouted seahorse, *Hippocampus guttulatus*: Breeding in captivity to preserve in the wild. PhD Thesis on marine biology and aquaculture, Lisbon University.
- [18] Correia, M. (2014). Trends in seahorse abundance in the Ria Formosa, South Portugal: recent scenario and future prospects. PhD Thesis on marine sciences, earth and environment, University of Algarve, Portugal.
- [19] Miles J. G. Parsons, A. J. Duncan, S. K. Parsons, C. Erbe (2020) Reducing vessel noise: Na exemple of a sola-electric passenger ferry. *The Journal of the Acoustical Society of America* 147, 3575 (2020); <https://doi.org/10.1121/10.0001264>
- [20] Dirk Tegtmeier and Thomas Meyer (www.solarschiff.de)
- [21] CEA, 2020 <http://www.cea.fr/Pages/domaines-recherche/energies/energies-renouvelables/recherches-CEA-energy-observer.aspx> (acedido em 13/08/2020)
- [22] Energy Observer, 2020. www.energy-observer.org acedido em 13/08/2020 ; (ABS – CBN, 2020) <https://news.abs-cbn.com/overseas/09/12/16/green-powered-boat-readies-for-round-the-world-voyage> (acedido em 13/08/2020)
- [23] Guia sobre desenvolvimento sustentável 17 objetivos para transformar o nosso mundo - Centro de Informação Regional das Nações Unidas para a Europa Ocidental <https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/> 2018 (acedido a 25/11/2020)
- [24] <https://www.culatra2030.pt/> (acedido a 25/11/2020)
- [25] Sun Concept, 2020. Informação cedida diretamente pela empresa.
- [26] REN 2020, <https://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/EstatisticaMensal.aspx> (acedido a 14/04/2020)
- [27] EDP News, julho 2020. <https://www.edp.com/pt-pt/noticias/2020/07/13/edp-antecipa-fecho-de-centrais-a-carvao-em-portugal-e-espanha> (acedido a 14/04/2020)
- [28] EDP 2020 <https://portugal.edp.com/pt-pt/central-termoeletrica-de-sines> (acedido a 14/04/2020)
- [29] https://www.edp.com/sites/default/files/declaracao_ambiental_2016_ribatejo.pdf (acedido a 14/04/2020)
- [30] https://www.edp.com/sites/default/files/declaracao_ambiental_2016_lares.pdf (acedido a 14/04/2020)
- [31] Observador, 2020. <https://observador.pt/2019/05/24/governo-quer-encerrar-central-termoeletrica-do-pego-em-2022/> (acedido a 14/04/2020)
- [32] APA 2007, Licença Ambiental da Central Termoeletrica do Pego
- [33] APA 2017, Licença Ambiental da Central de Ciclo Combinado do Pego
- [34] Trustenergy.pt (acedido a 11/08/2020)
- [35] RWE – Portugen Energy. <https://paginas.fe.up.pt/~mam/TurboG-1.pdf> (acedido a 11/08/2020)
- [36] WCI, 2005. “World Coal Institute; The Coal Resource – A comprehensive Overview of Coal”

- [37] IEA, 2016. “Medium-Term Coal Market Report”
- [38] Galp Distribuição, 2020 <https://galpgasnaturaldistribuicao.pt/gas-natural/o-que-e> (acedido a 17/04/2020)
- [39] IPCC, 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- [40] IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp
- [41] Krey, V., Masera, O., Blanford, G., Bruckner, T., Cooke, R., Fish-Vanden, K., Haberl, H., Hertwich, E., Kriegler, E., Müller, D., Paltsev, S., Price, L., Schlömer, S., Uerge-Vorsatz, D., Van Vuuren, D., Zwickel, T. (2014). Annex II: Metric & Methodology. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1281–1328. (https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_annex-ii.pdf)
- [42] Schlömer, S., Bruckner, T., Fulton, L., Hertwich, E., McKinnon, A., Perczyk, D., Roy, J., Schaeffer, R., Sims, R., Smith, P., Wiser, R. (2014). Annex III: Technology-Specific Cost and Performance Parameters. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1329–1356. https://doi.org/https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf
- [43] Ecoinvent. (2016). www.ecoinvent.org. (acedido a 14/08/2020)
- [44] EDP Comercial (2020) <https://www.edp.pt/origem-energia/> (acedido a 20/09/2020)

Anexos



Figura 24 Anexo - Embarcações típicas de apoio à moluscicultura. Vista de proa.



Figura 25 Anexo - Embarcações típicas de apoio à moluscicultura. Vista de través de bombordo.

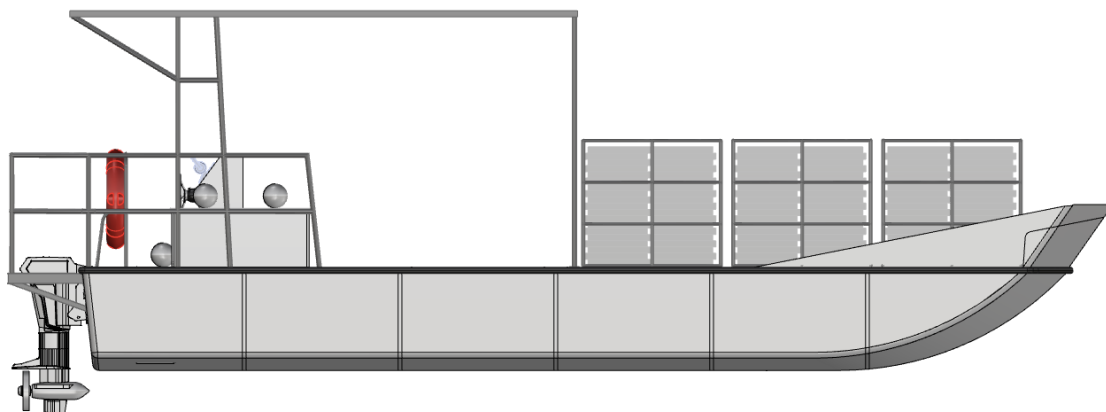


Figura 26 Anexo - OysterPro - Embarcação elétrico-solar para apoio à atividade de moluscicultura – viveiros de ostra. Vista de través de estibordo.

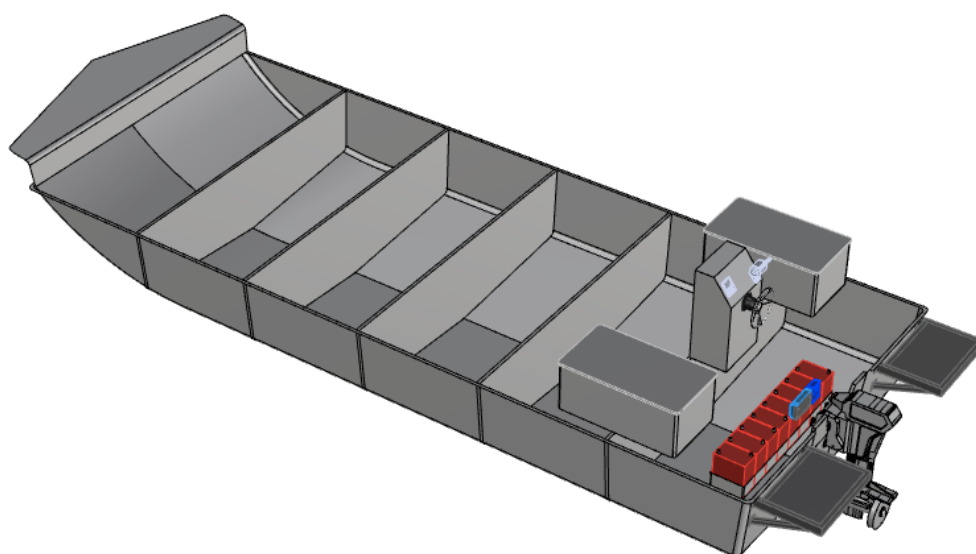


Figura 27 Anexo - OysterPro - Embarcação elétrico-solar para apoio à atividade de moluscicultura – viveiros de ostra. Vista em corte. Detalhe da disposição do banco de baterias.

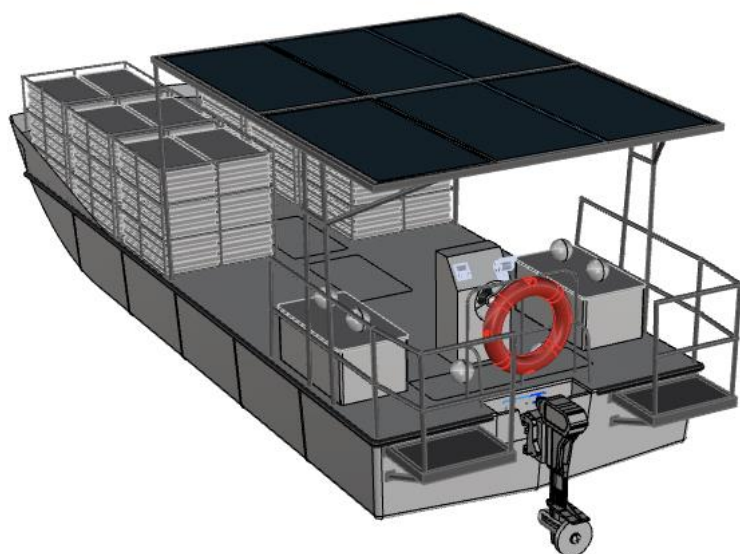


Figura 28 Anexo - OysterPro - Embarcação elétrico-solar para apoio à atividade de moluscicultura – viveiros de ostra. Vista de popa-bombordo.

Tabela 24 Modelo de entrevista levada a cabo aos proprietários das embarcações profissionais da Ilha da Culatra. Continua

Embarcações							
Nome	Proprietário	Tipo	Comprimento (metros)	Boca (metros)	Peso Vazio (kg)	Peso Carga (kg) (média)	Autoriza Fotografia da Embarcação
Ex.	"Exemplo"	Fibra/Madeira/ Alumínio	8.40	1.90	1500	4000	sim/não
1							
2							
...							
Motor							
Tipo	Marca	Ano	Combustível	Cilindrada (cm³)	Potência (HP/Cavalos)	Potência no veio do hélice (kW)	
Ex.	Fora de borda 4 Tempos	Yamaha	2004	Gasolina/ Gasóleo	1,832	115	84.6
1							
2							
...							

Tabela 25 Continuação. Modelo de entrevista levada a cabo ao proprietários das embarcações profissionais da Ilha da Culatra.

Utilização					
Consumo diário (litros)	Distância média diária percorrida (milhas náuticas)	Dias/Semana	Meses/Ano	Velocidade média descarregado (nós)	Velocidade média carregado (nós)
Ex. 15.00	6.00	5	11	8.00	4.00
1					
2					
...					